

Opname van cadmium door gewassen in moestuinen in de Kempen:
risico-inventarisatie en maatregelen

Opname van cadmium door gewassen in moestuinen in de Kempen: risico-inventarisatie en maatregelen

P.F.A.M. Römken

R.P.J.J. Rietra

J.P.A. Lijzen¹

P.F. Otte¹

R.N.J. Comans²

¹ RIVM Bilthoven

² Energieonderzoeks Centrum Nederland (ECN) Petten

Alterra-rapport 918

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Römkens, P.F.A.M., R.P.J.J. Rietra, J.P.A. Lijzen, P.F. Otte, en R.N.J. Comans, 2004. *Opname van cadmium door gewassen in moestuinen in de Kempen: risico-inventarisatie en maatregelen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 918. 64 blz. 9 fig.; 18 tab.; 28 ref.

Op basis van bestaande data is de opname van cadmium door enkele belangrijke moestuingewassen beschreven via een bodem-plant relatie. Gebruik makend van organische stof, pH, klei en het cadmiumgehalte van de bodem kan het gehalte in het gewas voorspeld worden. Met deze vergelijkingen is vervolgens het toelaatbare cadmiumgehalte in de bodem berekend waarbij de warenwetnorm (per gewas) wordt overschreden. Daarnaast is ook de totale blootstelling berekend (CSOIL) in geval van consumptie van gewassen die geteeld worden op met cadmium verontreinigde gronden. Uit de resultaten blijkt dat bij gangbare gehalten aan cadmium in de bodem in de Kempen de blootstelling via consumptie de MTR waarde overschrijdt, zeker in geval van (licht) zure gronden (pH lager dan 5,5). Verhoging van de bodem-pH en handhaving van het organische stofgehalte door toevoeging van compost of mest blijkt effectief om de blootstelling te reduceren. Dit is echter alleen van toepassing bij cadmiumgehalten in de bodem die liggen tussen 1 en 5 mg kg⁻¹. Bij cadmiumgehalten in de bodem tussen 2 en 5 mg kg⁻¹ zijn er beperkingen aan de keuze van de gewassen. Met name bladgroenten als sla, spinazie en andijvie kunnen dan beter niet geteeld worden. Bij cadmiumgehalten in de bodem van meer dan 5 mg kg⁻¹ zou consumptie uit eigen tuin afgeraden moeten worden. De hier gepresenteerde advieswaarden zullen in 2004 verder getoetst worden middels experimenteel onderzoek in bestaande moestuinen.

Trefwoorden: biobeschikbaarheid, blootstelling, cadmium, Kempen, moestuinen, warenwetnorm CSOIL, zware metalen.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 19,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 918. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Algemeen: bodemkwaliteit en mogelijke risico's	11
1.2 Omschrijving van risico: blootstelling versus warenwetnormen in individuele gewassen	12
1.3 Doelstelling	14
1.4 Aanpak	14
2 Bodem - plant relaties: modelconcept, beschikbare data en resultaten	17
2.1 Metaalopname door gewassen: modelconcept	17
2.2 Metaalopname door gewassen: beschikbare data en bodem - plant relaties	19
2.3 Bodem plant relaties voor cadmium: resultaten	22
2.4 Beschikbaarheid van cadmium in de bodem en het bodemvocht en de toepassing daarvan in risico analyse en normstelling	25
3 Berekening cadmiumgehalten in de bodem waarbij warenwetnorm wordt overschreden voor individuele gewassen	31
4 Berekening van blootstelling op basis van CSOIL	35
4.1 Aanpak	35
4.2 Gewasconsumptie en consumptiepakket	36
4.3 Gebruikte bodem-gewas relaties	37
4.4 Resultaten	38
4.5 Bijdrage van verschillende gewassen aan blootstelling	41
4.6 Relatie bodemgehalte en risico-index	42
5 Maatregelen om blootstelling te reduceren	45
5.1 Methoden om de beschikbaarheid van cadmium in de bodem te verlagen en daarmee de opname door gewassen te verlagen bij een gelijkblijvend bodemgehalte	45
5.2 Verlaging van het gehalte in de bodem waardoor eveneens de opname door gewassen verlaagd wordt.	46
5.3 Een teeltadvies op basis waarvan het afgeraden wordt om bepaalde gewassen te telen	47
5.4 Advieswaarde voor cadmium in moestuinen in de Kempen: vergelijking CSOIL met warenwetnormen	49
5.5 Maatregelen om blootstelling te reduceren: een overzicht	50
5.6 Overzicht van bodem en gewas parameters die in veldonderzoek bepaald moeten worden	50
6 Conclusies en aanbevelingen	53
Literatuur	55

Bijlagen

1	Normen voor cadmiumgehalten in gewassen (warenwetnormen)	59
2	Informatie over relevante gewassen waarvoor geen bodem-gewas relaties zijn zoals beschreven in paragraaf 2.1	61
3	Gedetailleerde uitvoering van Tabel 3.2	63

Samenvatting

Depositie van cadmium via de lucht, via verontreinigd slib na overstromingen van vervuilde riviertjes en lokaal door gebruik van zinkassen heeft in de Kempen geleid tot verhoogde gehalten in de bodem. Deze verhoogde cadmiumgehalten komen ook voor in moestuinen die gebruikt worden om groenten voor eigen consumptie te telen. Omdat cadmium één van de zware metalen is die relatief gemakkelijk door gewassen wordt opgenomen, leidt consumptie van gewassen uit moestuinen mogelijk tot een te hoge blootstelling. Om na te gaan in hoeverre het telen en consumeren van groenten uit eigen tuin leidt tot een onacceptabele blootstelling, is in deze studie berekend wat de cadmiumopname door verschillende gewassen in moestuinen is. Tevens is daarbij een kritisch cadmiumgehalte in de bodem afgeleid waarbij de MTR waarde (Maximaal Toelaatbaar Risico) voor de blootstelling van cadmium overschreden wordt. Daarnaast is gekeken hoe de blootstelling gereduceerd kan worden door maatregelen.

Het onderzoek omvat vier hoofdonderdelen:

1. Vaststellen van de relatie tussen het cadmiumgehalte in de bodem, de bodemeigenschappen en de opname door gewassen (model afleiding). Daarbij komt de ook beschikbaarheid van cadmium in de bodem en het bodemvocht aan de orde (Hoofdstuk 2).
2. Afleiden van kritische bodemgehalten waarbij warenwetnormen voor individuele gewassen overschreden worden (Hoofdstuk 3).
3. Bepalen van de blootstelling aan cadmium bij consumptie van groenten uit eigen tuin met behulp van CSOIL. Hierbij zijn ‘typische’ bodems van de Kempen gebruikt (Hoofdstuk 4).
4. Inventarisatie van maatregelen die genomen kunnen worden om de blootstelling te reduceren tot een aanvaardbaar niveau. Dit kan zowel via teeltadviezen als via ingrepen in de bodem (Hoofdstuk 5).

Uit de bestaande data kunnen voor de gewassen sla, radijs, spinazie, aardappelen, tomaat, prei en andijvie goede modellen afgeleid worden. Deze beschrijven de relatie tussen het totaalgehalte in de bodem en bodemeigenschappen enerzijds en het cadmiumgehalte in gewas anderzijds (zie Hoofdstuk 2). Voor andere belangrijke gewassen in moestuinen, o.a. courgette, kool, bonen, fruit en erwten zijn dergelijke modellen niet af te leiden. In de meeste gevallen komt dit omdat de data niet voorhanden zijn, of omdat er geen verband aangetoond kon worden. Voor die gewassen waarvoor geen verband aangetoond kon worden (tussen bodemeigenschappen en gewasgehalten) geldt vaak dat de gewasgehalten laag zijn. Warenwetnormen worden voor deze gewassen niet overschreden. Met name voor bonen, erwten en fruit bestaat vaak geen verband tussen bodem en gewas. Voor deze gewassen gelden dan ook geen teeltbeperkingen in de range aan cadmiumgehalten in de bodem die in deze studie aan de orde zijn. Voor aardbeien, kool en courgette zijn de data ontoereikend om een uitspraak hierover te kunnen doen.

De kritische gehalten in de bodem waarboven de warenwetnorm wordt overschreden bij een organischestofgehalte van 4% en een pH van 6,5 (goed onderhouden moestuin, zie Hoofdstuk 3) varieert van minder dan 1 mg kg⁻¹ voor spinazie tot meer dan 10 mg kg⁻¹ voor tomaat. Voor veel gangbare gewassen ligt de kritische waarde voor het gehalte in de bodem tussen 1,5 en 2,5 mg kg⁻¹.

De berekeningen met CSOIL (in Hoofdstuk 4) geven ook aan dat in geval van lage pH de blootstelling onacceptabel hoog is. Controle van de pH en zonodig correctie tot een niveau van 6,5 is daarom in ieder geval gewenst. Bij deze pH (6,5) blijkt dat het kritische bodemgehalte voor blootstelling van de mens voor cadmium (bij consumptie van alle groenten uit eigen tuin) in de bodem tussen 1,5 en 2 mg kg⁻¹ ligt, afhankelijk van het organischestofgehalte. Deze waarde komt goed overeen met de per individueel gewas bepaalde kritische gehalten voor overschrijding van de warenwetnorm.

Om zowel de kans op ongewenste of onacceptabele blootstelling als de kans op overschrijding van warenwetnormen te reduceren, wordt daarom een advieswaarde voor het cadmiumgehalte in de bodem van 1,5 à 2 mg kg⁻¹ voorgesteld. Dit in combinatie met controle van de pH (streef pH = 6,5, Hoofdstuk 5) en het op peil houden daarvan. Alternatieven in de sfeer van bodembeheer zijn in het geval van moestuinen beperkt tot het aanbrengen van leeflagen of het verhogen van het organischestofgehalte met behulp van compost of andere bodemverbeteraars.

Een belangrijke afweging bij het nemen van maatregelen is of een tuin in een overstromingsgebied ligt (lokale rivieren als Dommel, Tungelroyse Beek etc.) of dat er alleen sprake is (geweest) van atmosferische depositie. In het laatste geval zal het cadmiumgehalte in de bodem niet verder toenemen (omdat de depositie vanuit de lucht sterk is afgenomen). Eenmalige inventarisaties van de bodemkwaliteit zijn in die tuinen dan ook voldoende in combinatie met adviezen omtrent het beheer van de bodem. Omdat in deze tuinen de gehalten ook niet extreem hoog zijn (meestal lager dan 2 mg kg⁻¹) is de verwachting dat bodembeheer (controle van pH, opbrengen van organische stof) afdoende zal zijn in de meeste tuinen. Een blijvende verhoging van het organischestofgehalte vraagt echter om een grote jaarlijkse aanvoer van mest en of compost.

In geval van tuinen in overstromingsvlakten kan er na overstromingen ook in de toekomst nog sedimentatie van nieuw verontreinigd materiaal plaats vinden. Zolang de kwaliteit van het sediment niet verbetert, is controle op de kwaliteit van het aangevoerde materiaal de enige manier om te voorkomen dat de blootstelling te hoog wordt. In de overstromingsvlakten moeten maatregelen dus ook bovenstrooms genomen worden (bijvoorbeeld het aanleggen van slibvangers of bezinkbassins), om verdere verspreiding van de verontreiniging over een groter gebied te voorkomen. Met name in tuinen in overstromingsvlakten worden lokaal sterk verhoogde cadmiumgehalten aangetroffen (cadmiumgehalte in de bodem van meer dan 5 à 10 mg kg⁻¹). In deze tuinen zijn gebruiksbeperingen (variërend van teeltadviezen tot en met het afraden van consumptie uit eigen tuin) dan ook waarschijnlijk.

Tenslotte nog een opmerking over de toepasbaarheid en geldigheid van de hier gerapporteerde bodem-plant relaties. De in dit rapport berekende grenswaarden voor cadmium lijken goed overeen te komen met eerdere adviezen (oa het TCB advies van 2,5 mg kg⁻¹). Validatie van de resultaten met behulp van onderzoek in bestaande moestuinen in de Kempen in 2004 zal uitwijzen in hoeverre de hier gepresenteerde resultaten algemeen geldig zijn. Aan de hand echte veldstudies kunnen de hier afgeleide grenswaarden daarom alsnog bijgesteld worden. De berekende advieswaarden dienen in eerste instantie dus als voorlopige richtlijn en hebben als zodanig geen bindend karakter.

1 Inleiding

1.1 Algemeen: bodemkwaliteit en mogelijke risico's

In de Kempen komen verhoogde gehalten aan zware metalen (met name cadmium en zink en in mindere mate lokaal lood) in de bodem voor als gevolg van voormalige industriële activiteiten bij Budel-Dorplein, Lommel en Neerpelt. Ofschoon de voornaamste bron van zware metalen inmiddels is verdwenen (uitstoot via schoorsteen) zijn de gehalten in de bodem in een zone van 0 tot 20 km rondom de fabriek (met name in noordoostelijke richting) duidelijk verhoogd t.o.v. gangbare gehalten in zandgronden in Nederland. In het algemeen variëren de gehalten in de bovengrond in de zandgronden in de Kempen tussen de 0,5 en 3 mg kg⁻¹ waarbij lokaal uitschieters tot 5 à 10 mg kg⁻¹ aangetroffen worden. Dit is duidelijk verhoogd ten opzicht van normale gehalten aan cadmium in de bovengrond van de Nederlandse bodems die meestal lager zijn dan 0,6 mg kg⁻¹ (90 percentiel waarde in zandgronden bedraagt 0,52 mg kg⁻¹, Römken en Oenema, 2004).

Naast atmosferische depositie heeft er lokaal sedimentatie van verontreinigd slib plaatsgevonden. Door jarenlange lozing van met cadmium verontreinigd water is het slib verontreinigd geraakt. Dit slib is deels terecht gekomen in de overstromingsvlakten en hier zijn de zware metaalgehalten in de bodem soms sterk verhoogd. In tuinen in Neer (langs de Neerbeek) komen cadmiumgehalten van meer dan 20 mg kg⁻¹ voor. In tegenstelling tot sedimenten langs de grote rivieren betreft het hier vrij lichte gronden, dat wil zeggen gronden met een laag kleigehalte. Uit voorgaand onderzoek blijkt dat het kleigehalte in deze gronden rond de 4% ligt. De combinatie van een hoog cadmium gehalte, hoge zuurgraad (= lage pH) en een laag organisch stofgehalte resulteert in een hoge beschikbaarheid (lees: opname). Met name bij pH waarden lager dan 5 à 5,5 neemt de opname van cadmium door moestuin (en andere) gewassen sterk toe. Daarmee neemt automatisch dus ook de blootstelling toe (zie paragraaf 1.2) alsmede de kans dat een gewas niet voldoet aan de warenwetnorm.

Of er sprake is van risico's (in deze studie is dat de kans dat de gehalten in de gewassen in moestuinen te hoog zijn en dat de blootstelling de maximaal aanvaardbare waarden -dwz de MTR- overschrijdt) hangt dus sterk af van de combinatie gehalte, zuurgraad, organische stof en kleigehalte (nog even afgezien van de verschillen tussen gewassen). Een complicerende factor en daarmee ook een verschil tussen risico's in landbouwgronden is het feit dat de controle op onderhoud in tuinen en het inzicht in de gehalten en de variatie daarin tussen tuinen beperkt is. In de reguliere landbouw daarentegen worden vanuit bedrijfseconomisch oogpunt bepaalde maatregelen (o.a. bekalking) standaard toegepast. Het beheer en onderhoud van volkstuinten daarentegen is zeer variabel en varieert van 'voorbeeldig' tot zeer slecht. Dit maakt dat de bodemkwaliteit (lees: de bodemeigenschappen die de opname sturen zoals organische stof, pH, klei, maar ook de verhouding cadmium - zink) in deze tuinen ook kan variëren van zeer geschikt tot ongeschikt voor het telen van bepaalde gewassen. Zo zijn in recent onderzochte tuinen pH waarden van 3,5

gevonden (NOK 2003). Voor een deel betrof dit tuinen met dezelfde bodemtypen als in de Kempen (zandgronden). Ook wordt de kwaliteit van gewassen en bodems in moestuinen niet of nauwelijks gecontroleerd. Dat maakt het doen van generieke uitspraken over risico's ook lastig. Een inventarisatie van moestuinen in Neer toonde aan dat er een grote spreiding in gehalten (bodem) en zuurgraad in moestuinen voorkomt (Grontmij, 1998). In de tuinen waar daadwerkelijk consumptiegewassen werden gekweekt, varieerde het cadmiumgehalte van $< 0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ tot 11 mg kg^{-1} . Ook de zuurgraad in de bodem (allemaal zandgrond) varieerde van 4,6 tot 7,4. Of de variatie in pH het gevolg was van slecht onderhoud of van natuurlijke variatie in bodemeigenschappen kon uit de data niet worden afgeleid. Omdat de combinatie van lage pH en hoog cadmiumgehalte vrijwel zeker leidt tot overschrijding van de norm voor de blootstelling (zie Hoofdstuk 3 en verder) zal bij de advisering (en het vaststellen van maatregelen) in dit soort tuinen altijd een inventarisatie van de belangrijkste bodemparameters (incl. pH, cadmiumgehalte, organische stof en textuur) gedaan moeten worden.

In het verleden zijn namelijk herhaaldelijk bodem en gewas monsters genomen maar niet alle relevante bodem parameters bepaald. Voor zowel een goede risico evaluatie (berekening blootstelling en gewasgehalten individuele gewassen) zijn minimaal de eerder genoemde bodemeigenschappen nodig.

Een belangrijke afbakening van deze studie is dat deze zich richt op de blootstelling via de consumptie van zelf geteelde gewassen. Uiteraard zijn er in de Kempen ook andere, mogelijk belangrijke blootstellingroutes zoals inname via opwaaiend stof (buiten maar ook binnenshuis). De bijdrage van deze routes zal nu echter niet meegenomen worden, het doel is te inventariseren in hoeverre consumptie van gewassen, gekweekt op bodem met verhoogde cadmiumgehalten, leidt tot een verhoogde blootstelling aan cadmium. Daarbij zal echter wel het effect van de inname van grond (met verhoogd cadmiumgehalte) meegenomen worden.

1.2 Omschrijving van risico: blootstelling versus warenwetnormen in individuele gewassen

Bij het beoordelen van risico's van cadmium in gewassen spelen twee toetsingscriteria een rol. Ten eerste kan het *gehalte in het gewas* getoetst worden aan de warenwetnormen (voor de gewassen waarvoor deze bestaan). Ten tweede kan de *blootstelling van de mens* via gewasconsumptie berekend en getoetst worden aan een kritische blootstelling.

Voor gewassen bestaan warenwetnormen (althans voor cadmium, niet voor alle metalen, zie Bijlage 1). Wanneer in de reguliere landbouw producten niet voldoen aan deze norm (dwz de cadmiumgehalten in de producten zijn hoger dan de norm) dan mogen ze niet verkocht worden. Regelmatige controles worden dan ook uitgevoerd om na te gaan of de kwaliteit voldoende is. Het overschrijden van deze norm in moestuinen geeft dus in principe aan dat deze gewassen volgens de warenwetnorm niet geschikt zijn voor commerciële verkoop. Omdat echter voor voedselveilig-

heidseisen marges zijn ingebouwd is het niet zo dat bij consumptie meteen risico's voor de gezondheid ontstaan. Om echter te voorkomen dat in tuinen cadmiumgehalten in groenten aangetroffen worden die volgens de warenwetnorm te hoog zijn, wordt de warenwet norm wel gebruikt als maximaal aanvaardbare grens.

Naast toetsing aan de Warenwet is voor het bepalen van de risico's voor de mens toetsing van de blootstelling aan een toxicologisch criterium minstens zo belangrijk. De blootstelling van de mens aan cadmium via gewassen (maar ook de blootstelling via andere voedingsmiddelen en andere bronnen zoals roken en stof) kunnen te hoog zijn vergeleken met het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR_{humaan}). Bij blootstelling boven het MTR kunnen bij levenslange blootstelling negatieve effecten ontstaan. Bij bodemverontreiniging worden de risico's voor de mens gewoonlijk beoordeeld door de blootstelling van de mens te toetsen aan het MTR.

Bij voorbaat is niet te zeggen welke van de twee criteria het meest kritisch is. Dit hangt mede af van de te beoordelen gewassen en de samenstelling van het consumptiepakket. In geval van bodemverontreiniging op niet-landbouwgronden heeft toetsing van de blootstelling aan het MTR_{humaan} de eerste prioriteit.

Bij de afweging van risico's moeten beide criteria dan ook gescheiden geïnterpreteerd worden, omdat dat mede bepaalt welke maatregelen genomen moeten worden. Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat het gehalte in sla te hoog is volgens de warenwetnorm ($> 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ cadmium op vers gewicht), maar het aandeel sla in de consumptie zodanig laag is dat de integrale blootstelling nauwelijks verhoogd is. In dat geval zijn de te nemen maatregelen minder strikt dan wanneer blijkt dat de consumptie van enkele gewassen met verhoogde gehalten ook leidt tot een duidelijk verhoogde blootstelling tot boven het MTR_{humaan} . In het eerste geval zou bijvoorbeeld een teelt of consumptie advies volstaan zonder dat de bodem 'gesaneerd' hoeft te worden, terwijl in het tweede geval ook maatregelen genomen moeten worden die daadwerkelijk de opname door gewassen verlagen (bijvoorbeeld verhogen van de bodem pH).

In de huidige studie worden deze twee zaken dus gescheiden. Ten eerste wordt voor een aantal belangrijke gewassen die in moestuinen gekweekt worden bepaald wat de kritische gehalten in de bodem zijn, waarbij het gewas niet meer aan de warenwetnorm voldoet. In Hoofdstuk 3 wordt hier nader op ingegaan. Omdat dit kritisch bodem gehalte afhankelijk is van organische stof, pH en textuur (% klei), worden de berekeningen in tabel vorm gepresenteerd. Per combinatie van organische stof, klei en pH is aangegeven wat het bijbehorende kritische gehalte in het gewas is. In paragraaf 2.2 wordt nader toegelicht hoe de kritische bodemgehalten berekend worden. Het moge echter duidelijk zijn dat er alleen maar kritische bodemgehalten berekend kunnen worden als er een verband bestaat tussen gehalten in de bodem, bodemeigenschappen en het gehalte in de plant. Voor een aantal gewassen bestaat een dergelijk verband niet. In dat geval is het belangrijk na te gaan of het gehalte in deze groep van gewassen onder de omstandigheden zoals die in de Kempen voorkomen, voldoen aan de norm.

Ten tweede is het belangrijk te weten wat de daadwerkelijke blootstelling is als gevolg van groenteconsumptie uit eigen tuin. Daartoe wordt met het blootstellingsmodel CSOIL de totale inname van cadmium via gewasconsumptie (en grondingestie) berekend. In Hoofdstuk 4 wordt nader toegelicht welke combinaties van bodemeigenschappen zijn gebruikt om de totale blootstelling te berekenen. Omdat de blootstelling afhankelijk is van de gehalten in de gewassen en deze weer afhankelijk zijn van de bodemeigenschappen, is er voor gekozen om verschillende scenario's door te rekenen. Deze omvatten zowel niet, matig en sterk verontreinigde gronden met een cadmiumgehalte van resp. 0,5, 2,5 en 10 mg kg⁻¹ bij verschillende zuurgraad (pH 4,5 en 6,5) en verschillend organisch stof gehalte (4 en 8%). Op deze manier kan worden nagegaan hoe de blootstelling varieert als gevolg van variatie in bodemeigenschappen. Deze variatie is zo gekozen dat deze ruwweg de aangetroffen variatie weerspiegelt en waarbij ook enkele 'worst case' scenario's aanwezig zijn (hoog cadmiumgehalte, lage pH en laag organisch stof gehalte). Daarbij is alleen gerekend met gronden met een laag lutum gehalte (4%) omdat dat in de Kempen in het algemeen het geval is.

1.3 Doelstelling

De doelen van dit onderzoek zijn

1. Vaststellen voor welke gewassen de overdracht van cadmium van bodem naar gewas beschreven kan worden op basis van bodemeigenschappen (afleiden *bodem - plant relaties*).
2. Op basis van deze relaties de *kritische bodemgehalten* uitrekenen waarbij voor de individuele gewassen de warenwetnorm wordt overschreden.
3. Middels CSOIL vaststellen wat *de toename van de blootstelling* is als gevolg van consumptie van groenten uit eigen tuin in de Kempen.
4. Het formuleren van *maatregelen* (hetzij adviezen hetzij daadwerkelijke ingrepen in de bodem ter plekke) waardoor de blootstelling gereduceerd kan worden tot een aanvaardbaar niveau.
5. Het opstellen van een *lijst met bodem- en gewasparameters* die in ieder geval gemeten moeten worden in een moestuin om te kunnen vaststellen of er sprake is van een verhoogd risico bij consumptie uit eigen tuin.

1.4 Aanpak

De doelstellingen van dit project kunnen door middel van een aantal activiteiten worden gerealiseerd.

1. Nagaan welke de bestaande gegevens zijn die gebruikt kunnen worden om de overdracht van zware metalen in bodem naar gewas te kwantificeren voor een aantal belangrijke gewassen in volkstuinen (in ieder geval sla, radijs, wortel, andijvie, aardappel). Hierbij zullen zowel bestaande meetgegevens uit Nederland en België (veld- en laboratoriumonderzoek) als ook internationale gegevens uit de literatuur gebruikt worden. Belangrijke bronbestanden hierbij zijn het landelijk onderzoek dat door het voormalige Instituut voor Bodemvruchtbaarheid is

uitgevoerd en een onderzoek in de Maasoeveren dat zich specifiek richtte op verontreinigde bodems langs Maas, Roer en Geul. Daarnaast zullen de beschikbare gegevens uit het Belgische deel van de Kempen worden geïnventariseerd (voor zover publiekelijk beschikbaar) en gebruikt bij de analyse (punt 2 en 3).

2. Opstellen van bodem - plantrelaties voor deze gewassen en onzekerheidsanalyse (hoe betrouwbaar is de uitspraak en wat zijn de marges van deze uitspraak; evaluatie van andere modelconcepten om overdracht van bodem naar gewas te modelleren waarbij het accent ligt op toepassing op veldschaal. Daarnaast een overzicht geven van mogelijke quick-scan indicatoren voor het vaststellen van actuele risico's.
3. Analyse van de blootstelling aan cadmium (met behulp van CSOIL) bij consumptie van deze gewassen, waarbij verschillende varianten doorgerekend worden. Deze variëren van consumptie van groenten uit goed onderhouden tuinen (dwz pH is 6,5 of hoger) met lage cadmiumgehalten (in de bodem: 0,5 mg kg⁻¹) tot consumptie van gewassen uit slecht onderhouden tuinen (pH 4,5) in combinatie met hoge cadmiumgehalten in de bodem (10 mg kg⁻¹).
4. Aangeven van kwaliteitseisen (minimum condities) waaraan tuinen moeten voldoen in termen van minimale organischestofgehalten en pH bij verschillende cadmiumgehalten in de bodem.
5. Opstellen van een advies bemonsteringspakket. Tot op heden wordt te vaak een bemonstering uitgevoerd waarbij na afloop geconstateerd wordt dat een aantal essentiële parameters ontbreken. Op basis van de analyse van de relatie tussen bodem- en gewaskwaliteit moet het mogelijk zijn een pakket analyses op te stellen op basis waarvan de humane risico's ingeschat kunnen worden.
6. Opstellen van een lijst van potentiële maatregelen die genomen kunnen worden wanneer een tuin niet aan de minimale eisen voldoet.
7. Voorstel voor een toetsing op veldschaal waarbij de nadruk ligt op het inventariseren van de actuele bodemkwaliteit (nul-meting bodemkwaliteit) en het monitoren van de effectiviteit van maatregelen om deze te verbeteren (o.m. door controle van gewassen, tevens een validatie van de bodem-gewas relaties).

Validatie en toetsing van de hier afgeleide bodem-plant relaties alsmede toetsing van de berekende blootstelling op basis van metingen aan voedselpakketten komen in deze studie verder niet aan de orde. Dit zal in een aparte pilotstudie gedaan worden die medio 2004 zal starten.

Ontwikkeling van een protocol voor de bemonstering bodem en gewas

In de pilotstudy die medio 2004 uitgevoerd zal worden, moet worden gewerkt met een strikt bemonsterings- en analyseprotocol (voor bodem- en gewasmonsters). Dit niet alleen om er voor te zorgen dat alle benodigde parameters bepaald worden, maar ook om de resultaten van verschillende tuinen goed met elkaar te kunnen vergelijken.

In overleg met de begeleidingscommissie van deze studie is door RIVM en Alterra een voorlopig protocol opgesteld voor de bemonstering van moestuinen, de verslaglegging en de analyse van de monsters. Hierin zijn de randvoorwaarden opgenomen waaraan een onderzoek naar de bodem- en gewaskwaliteit moet

voldoen. Onder andere zijn ook alle parameters benoemd die bepaald moeten worden, zowel aan bodem- als gewasmonsters. Daarbij is er onderscheid gemaakt tussen *blootstellingsonderzoek* en het onderzoek naar de *validatie van de bodem - plant relaties*. Voor beide gelden namelijk verschillende bemonsteringsprotocollen.

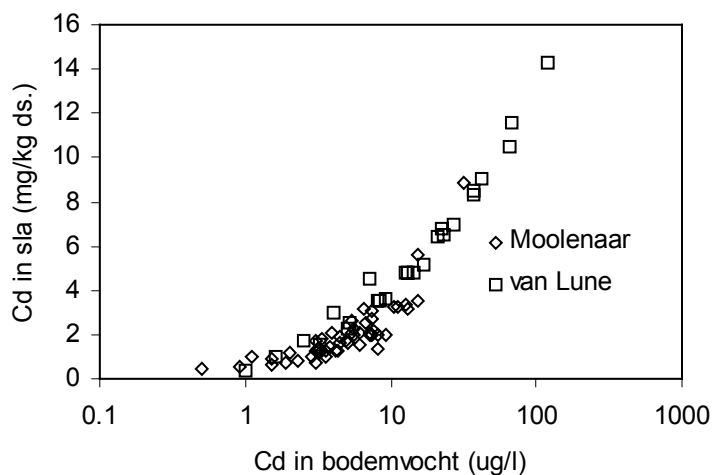
Voor meer informatie omtrent dit voorlopig protocol wordt verwezen naar Actief Bodembeheer de Kempen (contactpersoon C.G.M. Kuppens en/of W.A.M. Van Dijk).

2 Bodem - plant relaties: modelconcept, beschikbare data en resultaten

2.1 Metaalopname door gewassen: modelconcept

De opname van zware metalen door gewassen is complex. Niet alleen spelen bodemchemische factoren een grote rol maar ook plantfysiologische processen. Zo bestaan er gewassen die specifiek in staat zijn metalen in verhoogde mate op te nemen (de zgn. hyperaccumulators) maar er zijn ook gewassen die niet of nauwelijks metalen opnemen en die hun interne gehalte vrijwel constant weten te houden ongeacht de bodemchemische condities.

Voor deze tweede groep moge het duidelijk zijn dat er geen verband bestaat tussen bodem en gewas. Het afleiden van kritische gehalten is in dat geval ook niet mogelijk. Daar staat tegenover dat de interne gehalten in deze groep van gewassen vrijwel altijd laag zijn en consumptie van deze gewassen niet leidt tot verhoogde blootstelling.



Figuur 2.1 Relatie tussen de cadmiumconcentratie in bodemvocht en het cadmiumgehalte in sla (op droge stof)

Het is dus voornamelijk voor gewassen die metalen opnemen in afhankelijkheid van de bodemcondities van belang na te gaan welke de bodemfactoren zijn die de opname bepalen. Een eerste aanname daarbij is de hypothese dat de opname afhankelijk is van de concentratie in het bodemvocht. Planten kunnen via hun wortelstelsel nu eenmaal geen metalen direct uit de vaste fase opnemen. De aanname is dan ook dat de uiteindelijke interne gehalten in de plant te correleren zijn aan de concentratie in het bodemvocht. Dit is voornamelijk voor cadmium (maar ook voor zink, nikkel en in mindere mate ook koper) aangetoond. In Figuur 2.1 is bijvoorbeeld te zien hoe het gehalte van cadmium in sla afhangt van de (gemeten) concentratie in het bodemvocht. De data in Figuur 2.1 zijn afkomstig van verschillende (niet gepubliceerde) studies (Moolenaar, pers. meded., van Lune, IB-archief) en het is daarom illustratief dat de verschillende data een zelfde verband vertonen. Uiteraard is

de relatie tussen concentratie en gehalte in het gewas verschillend voor verschillende gewassen.

Samengevat komt het erop neer dat de opname door de gewassen dus afhangt van de concentratie aan cadmium in het bodemvocht. Echter, de concentratie in het bodemvocht wordt slechts sporadisch gemeten en is dus in principe niet zo'n handige maat om als criterium voor opname te gebruiken.

Wanneer echter de concentratie in het bodemvocht weer goed beschreven kan worden met een aantal bodemparameters (pH, organische stof, klei en cadmiumgehalte in de bodem) dan kan daaruit een direct verband tussen bodem en gewas afgeleid worden:

1. Gehalte in het gewas = afhankelijk van concentratie in bodemvocht, én

2. Concentratie in het bodemvocht = afhankelijk van bodemeigenschappen, →

3. Gehalte in het gewas = afhankelijk van bodemeigenschappen

In Figuur 2.1 is het verband tussen gehalte in het gewas en de concentratie in het bodemvocht al aangetoond. Uit onderzoek aan meer dan 1400 bodemmonsters waarvan de concentratie in het bodemvocht is gemeten blijkt dat de concentratie van cadmium in het bodemvocht inderdaad ook een functie is van bodemeigenschappen waarbij met name organischestofgehalte, pH en uiteraard het cadmiumgehalte in de bodem zeer belangrijk zijn. Daarnaast speelt ook het kleigehalte een rol. In paragraaf 2.4 wordt nader ingegaan op de beschikbaarheid van cadmium in het bodem vocht en de factoren die daarbij een rol spelen.

Daarmee is in feite concept 3 (cadmiumgehalte in de plant is afhankelijk van het cadmiumgehalte in de bodem en bodemeigenschappen) aangetoond. Uit de beschikbare data (zie ook paragraaf 2.2) blijkt dat het verband tussen het gehalte in het gewas en de bodemeigenschappen het best beschreven kan worden met behulp van een zgn. Freundlich vergelijking. Deze kan als volgt uitgeschreven worden:

$$\begin{aligned} {}^{10}\log(\text{cadmium-gewas}) = & \text{Constante} \\ & + \alpha \cdot {}^{10}\log(\% \text{ organische stof}) \\ & + \beta \cdot {}^{10}\log(\% \text{ klei}) \\ & + \gamma \cdot \text{pH}_{\text{KCl}} \\ & + \delta \cdot {}^{10}\log(\text{cadmium-bodem in mg kg}^{-1}) \end{aligned} \quad [1]$$

De waarden voor de constante en de coëfficiënten α , β , γ en δ kunnen via regressie bepaald worden uit de beschikbare data (zie paragraaf 2.2). Voor zowel het cadmiumgehalte in de bodem als in het gewas wordt in vergelijking 1 uitgegaan van het gehalte op *droge stof basis*, zowel voor bodemeigenschappen als gewas.

Met name voor het gewasgehalte is deze correctie belangrijk omdat het droge stofgehalte van gewassen als sla (en andijvie, spinazie etc) varieert van 4 tot 7 %. Een

warenwetnorm van $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (voor bladgroenten) op basis van vers materiaal betekent op droge stof basis dus een omgerekende norm van rond de 4 mg kg^{-1} .

Wanneer dus van een bepaald gewas de relatie tussen bodem- en gewasgehalte eenmaal bekend is, kan voor elke bodem het gehalte in het gewas berekend worden. Voorwaarde is dan wel dat de combinatie van bodemeigenschappen voor het te berekenen gewas niet buiten de range van bodemeigenschappen ligt van de dataset op basis waarvan de relatie is afgeleid. Wanneer bijvoorbeeld het maximale cadmiumgehalte in de bodem in de aanwezige data 15 mg kg^{-1} bedraagt dan is de berekening van het cadmiumgehalte in een gewas op een bodem met meer dan 30 mg kg^{-1} niet betrouwbaar.

Een belangrijke toepassing van deze relatie is ook de berekening van het kritisch bodemgehalte bij een gegeven gewasgehalte. De vraag is namelijk wanneer (bij welk bodemgehalte) de warenwetnorm overschreden wordt. In dat geval kan het plantgehalte ingevuld worden en het bij behorende bodemgehalte berekend worden (mits uiteraard het organischestofgehalte, pH en kleigehalte bekend zijn).

Hierbij geldt nog sterker dan bij het afleiden van gewasgehalte uit het bodemgehalte dat de range in gemeten gewasgehalten zich moet uitstrekken tot boven de gewasnorm. Wanneer bijvoorbeeld de cadmiumgehalten in het gewas variëren van $0,1$ tot $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ en de norm bedraagt 2 mg kg^{-1} dan is toepassing van deze methode al niet meer mogelijk. Als richtlijn geldt dat de gemeten gehalten in het gewas minimaal even hoog moeten zijn als de te gebruiken norm, dwz een of meerdere punten moet een gehalte hebben dat gelijk of hoger is dan de gewasnorm.

Samenvatting

- *De opname van cadmium door gewassen wordt gestuurd door de concentraties in het bodemvocht.*
- *De bodemeigenschappen organische stof, pH en klei, samen met het cadmiumgehalte zijn de belangrijkste bodemeigenschappen die de opname van cadmium bepalen.*
- *Een statistisch verband tussen het gehalte in het gewas en de genoemde bodemeigenschappen kan gebruikt worden om de gehalten in het gewas te schatten.*

2.2 Metaalopname door gewassen: beschikbare data en bodem - plant relaties

Bij het opstellen van de relaties tussen bodem en gewas zijn er verschillende factoren die maken dat data in meer of mindere mate geschikt zijn:

1. De dataset moet 'compleet' zijn. Dit klinkt triviaal, maar voor een groot deel van de beschikbare data geldt dat een of meerdere bodemeigenschappen niet gemeten zijn. De datasets die hier gebruikt zijn bevatten daarom altijd organische stof, pH, kleigehalte en metaalgehalte in bodem en (uiteraard) gewas;

2. De data moeten afkomstig zijn van reële proeven en veldstudies. In veel van de beschikbare studies zijn bodems met opzet verontreinigd met metalen. Dit gebeurt meestal door cadmium in de vorm van oplosbare zouten toe te voegen aan de bodem. Dit beïnvloedt de beschikbaarheid van metalen en daarmee ook de opname. Met name voor metalen als koper, en lood geldt dat resultaten van studies op basis van extra toegevoegde metalen niet te vergelijken zijn met veldstudies waarbij de bodem niet is behandeld. Data van veldstudies waarbij metingen in gewas en bodem gedaan worden zonder toevoeging van metalen genieten dan ook de voorkeur. Voor cadmium geldt echter dat toevoeging van metalen slechts in beperkte mate de beschikbaarheid beïnvloedt. Dit komt omdat in de meeste bodems de beschikbaarheid van cadmium hoog is, dwz slechts een heel gering deel van het cadmium in de bodem is niet beschikbaar (bijvoorbeeld cadmium in het kristalrooster van kleimineralen). Ofschoon recent onderzoek bij ECN aantoonde dat de beschikbaarheid van cadmium nog wel kan verschillen tussen bodems, is er hier vanuit gegaan dat de hoeveelheid cadmium die gemeten is in de bodem ook beschikbaar is;
3. Zoals eerder is gesteld, moet het gehalte aan cadmium in gewas en bodem en de range aan bodemeigenschappen matchen met die bodems waarvoor de voorspelling gedaan moet worden. Voor toepassing in de Kempen betekent dit concreet dat er in ieder geval verontreinigde zandgronden in de dataset moeten zitten.

Een eerste screening naar onderzoek aan bodem en gewas voor cadmium leverde een aantal resultaten op:

1. Resultaten van het 'Maasoever-onderzoek' (Van Driel et al., 1988).
2. Ongepubliceerd onderzoek bij IB (voormalig Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO) te Haren) waarbij gedurende 5 jaar in 60 bodems verschillende gewassen (sla, radijs, aardappel, spinazie, andijvie) zijn gekweekt in zand-(30) en kleigronden (30; Smilde et al. ongepubliceerd, vakkenproef 6306).
3. Samenvatting van literatuur (Versluijs et al., 2001).
4. Moestuinen België.
5. Landelijk onderzoek naar metaalgehalten in bodem en gewas (Wiersma et al., 1986).
6. Veldgegevens uit de Kempen (Luit en Smilde, 1983; Luit, 1984).
7. Studies uitgevoerd door Royal Haskoning in tuinen in Weert en Budel in 1990.
8. Studies uitgevoerd door Grontmij in tuinen in Roggel, Neer en Weert (Grontmij, 1998).

Een eerste conclusie die op basis van de beschikbare data uit de literatuur getrokken werd is dat het combineren van data uit verschillende bronnen in vrijwel alle gevallen leidt tot een slechter verband. Dit is waarschijnlijk een gevolg van o.a. methodische verschillen tussen studies, verschillen tussen de gewascultivars en verschillen in de (bodem)ranges die in elk van de afzonderlijke studies aanwezig zijn. Bovendien zijn de data uit de literatuur vrijwel allemaal afkomstig uit experimenten waarbij cadmiumgehalten in de bodem door toevoeging zijn verhoogd (tot vaak extreme waarden van meer dan 100 mg kg⁻¹).

Dit leidde tot de beslissing dat de hier te gebruiken bodem-plant relatie beter op basis van 1 goede dataset afgeleid kan worden dan op basis van enkele gecombineerde.

Uiteindelijk is een keuze gemaakt tussen de data van het Maasoever bestand en het onderzoek op het IB (proef 6306, Smilde et al., niet gepubliceerd). Beide bestanden voldoen aan de eis dat de hoogst gemeten gewasgehalten hoger zijn dan de warenwetnorm. Ook de range in bodemeigenschappen is van dien aard dat het type bodem dat in de Kempen aanwezig is (i.e. zandgronden), voorkomt in de dataset (wat betreft bodemeigenschappen, er zitten geen monsters uit de Kempen zelf in, zie Tabel 2.1). Wel is het maximale cadmiumgehalte in de bodem in de IB dataset iets lager dan in het Maasoever bestand. Bij de data uit het Maasoever bestand moet echter wel bedacht worden dat dit de gegevens zijn van de hele set ($n = 534$) en daarom ook analyses van gewassen bevatten die voor deze studie niet van belang zijn.

Tabel 2.1 Overzicht van bodemeigenschappen in IB bestand (Smilde et al., ongepubliceerd) en Maasoever bestand (Van Driel et al., 1988).

	Organische stof (%)		Klei (%)		pH (KCl)		cadmium bodem mg kg ⁻¹ d.s.	
	IB	Maas	IB	Maas	IB	Maas	IB	Maas
Gem.	6,0	5,0	13,6	15,6	6,3	6,2	1,73	3,02
Med.	3,8	4,1	11,6	14,7	7,0	6,3	1,54	1,66
Min	0,7	0,9	3,0	2,5	3,8	3,8	0,04	0,13
Max	28,3	19,5	38,9	41,2	7,6	7,7	4,98	24,9

Het oudere IB onderzoek verricht door van Luit in de Kempen is niet volledig gedocumenteerd. De individuele datapunten zijn niet meer te achterhalen. Voor de recente gegevens afkomstig uit studies verricht door Grontmij geldt dat deze enerzijds vrij beperkt zijn (kleine aantallen monsters waarbij zowel gewas- als bodemgehalte bepaald is) en anderzijds ook niet compleet (textuur en/of organische stof ontbreekt vaak).

Het landelijk IB onderzoek (Wiersma et al., 1986) is in de jaren 80 uitgevoerd om een indruk te krijgen van de variatie in gehalten in bodem en gewassen in 'normale' landbouwgronden. Dat betekent dat de aangetroffen gehalten zowel voor bodem als voor gewas laag zijn, in ieder geval lager dan in de Kempen het geval is. In deze set liggen de gewasgehalten niet of nauwelijks boven de warenwet. Ook de bodemgehalten liggen (zeker in de bemonsterde zandgronden) onder de waarden die in de Kempen worden aangetroffen. Het gebruik van een bodem - plant relatie afgeleid van deze data resulteert dus vaak in extrapolatie. Dat wil zeggen dat de gegevens die voor de Kempen ingevoerd worden, buiten de range vallen van de oorspronkelijke data waarop de bodem -plant relatie is gebaseerd.

Voor twee gewassen (tomaat en waspeen) blijkt het landelijk onderzoek echter de enige bron te zijn. Bovendien bleek ook (zie Tabel 2.2) dat voor tomaten wel cadmiumgehalten in de bodem tussen 5 en 15 mg kg⁻¹ in de database aanwezig zijn. Voor waspeen echter niet (cadmium-max bodem = 1,5 mg kg⁻¹) hetgeen betekent dat de kritische gehalten die met deze bodem plant berekend worden (voor de Kempen) met enige voorzichtigheid gebruikt moeten worden.

Tabel 2.2 Overzicht van data ten behoeve van de bodem - plant relaties voor cadmium van Tabel 2.1.

Gewas	deel	Dataset #	cadmiumgehalte (mg.kg ⁻¹ droge stof)						
			<i>Bodem</i>			<i>Gewas</i>			
			min	max	med	min	max	med	
Aardappel		IB ¹	60	0,07	5,45	1,54	0,01	1,10	0,27
Andijvie		IB	58	0,06	5,12	1,48	0,21	92,00	1,94
Radijs	bol	IB	60	0,05	4,97	1,57	0,14	16,10	0,90
Sla		IB	117	0,04	5,12	1,50	0,49	47,20	2,82
Spinazie		IB	118	0,04	5,30	1,49	0,54	156,00	7,08
Prei Maas		Maas	15	0,19	0,82	0,39	0,06	0,54	0,29
Tomaat		IB L.	40	0,20	11,00	0,60	0,04	1,52	0,23
Waspeen		IB L.	100	0,04	1,50	0,28	0,09	1,96	0,35

¹ Gebruikte afkortingen voor datasets: IB (Smilde et al., ongepubliceerd), Maas (Van Driel et al., 1988), IB L. (Wiersma et al., 1986).

Het onderzoek in België heeft geresulteerd in een goed overzicht van gehalten in bodem en gewas en ook tot specifieke aanbevelingen over het maximaal aanvaardbaar gehalte aan cadmium in de bodem (o.a. Staessen et al., 1992, 1994). De data uit deze studies zijn echter niet beschikbaar voor (her)analyse.

Het is van belang hier te vermelden dat van het onderzoek naar cadmium in bodems en gewassen in de Kempen door Luit en Smilde (1983) en Luit (1984) de oorspronkelijke gegevens niet meer traceerbaar zijn. Gepubliceerd zijn de cadmium totaalgehalten in grond en gewas zonder de bijbehorende pH en organische stofgehalten. Hierdoor zijn de afzonderlijke effecten van pH en organische stof niet meer te achterhalen maar is wel te controleren of de relatie tussen cadmium totaalgehalten in grond en gewas uit andere onderzoeken enigszins overeenkomt met de relatie in de Kempen.

Ook door Van der Kolk (1987) is een uitgebreide analyse gemaakt van de relatie tussen bodem en gewas. De dataset die destijds gebruikt is, is echter eveneens niet meer beschikbaar. Uit dit onderzoek zijn wel nog de afgeleide relaties beschikbaar die gebruikt kunnen worden om de hier berekende uitkomsten te toetsen.

Samenvatting

- Voor cadmium zijn voldoende data om betrouwbare bodem plant relaties af te leiden.
- De hier geselecteerde gegevens zijn afkomstig van een proef van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en een onderzoek in de Maasoever.
- De gegevens van de Belgische studies in de moestuinen in de Vlaamse Kempen zijn helaas niet beschikbaar.

2.3 Bodem plant relaties voor cadmium: resultaten

Uiteindelijk is voor de volgende gewassen een bodem-plant relatie gebruikt: aardappel, andijvie, radijs, spinazie, sla, prei, tomaat en waspeen. Voor prei zijn daarbij de data van het Maasoever bestand gebruikt (noot: ook hier vrij lage

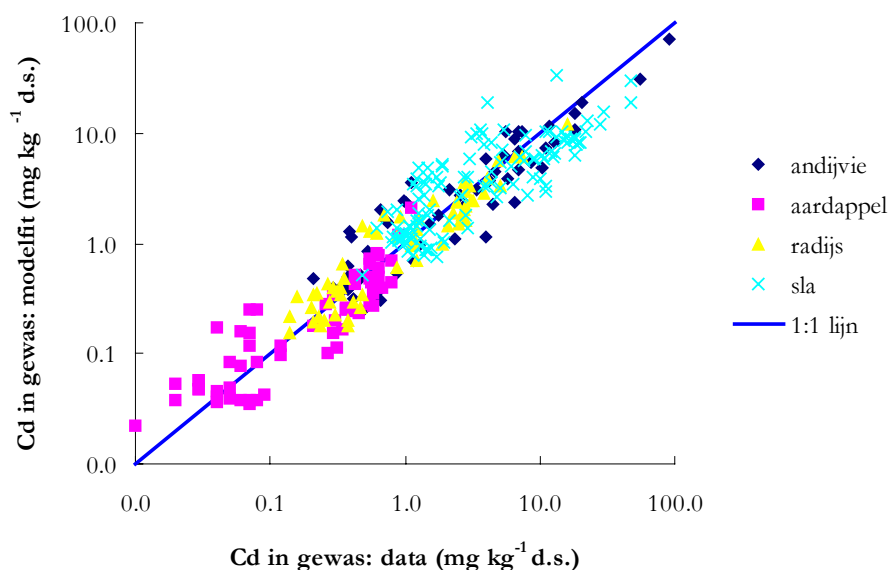
cadmiumgehalten in de bodem), eenvoudigweg omdat deze niet zijn bepaald in het onderzoek van het IB. Voor waspeen en tomaat zijn de data uit het landelijk IB bestand (Wiersma et al., 1986) gebruikt omdat deze zowel in het Maasoever bestand als in het IB onderzoek niet aanwezig zijn. Voor de overige gewassen is de keuze gevallen op het IB bestand (Smilde et al., ongepubliceerd). De bodem-plant relaties uit dat bestand zijn beter dan die van het Maasoever bestand (Van Driel et al., 1988). Een van de belangrijkste redenen hiervoor is dat in de IB studie er steeds 1 cultivar is gebruikt voor een bepaald gewas. Dat is vervolgens op alle gronden in deze studie aangeplant. Omdat de verschillen in opname van cadmium tussen cultivars van hetzelfde gewas groot kunnen zijn (dwz de uiteindelijke gewasgehalten van verschillende cultivars gekweekt op 1 bodem zijn niet gelijk), is een relatie gebaseerd op een studie met slechts 1 cultivar bijna altijd beter dan een gebaseerd op een dataset met meerdere cultivars. In Tabel 2.3 is een overzicht van de hier toegepaste bodem - plant relaties gegeven.

Tabel 2.3 Overzicht van bodem - plant relaties voor cadmium volgens vergelijking [1] in paragraaf 2.1.

Gewas	deel	Dataset	#	Coëfficiënten Bodem - plant relatie						se(Y)
				INT	SOM (α)	Klei (β)	pH KCl (γ)	Q(δ)	R ²	
Aardappel	bol	IB ¹	60	0,97	-0,41	-0,20	-0,21	0,81	0,78	0,26
Andijvie		IB	58	3,24	-0,88	-0,21	-0,34	0,92	0,85	0,26
Radijs		IB	60	1,59	-0,64	-0,22	-0,16	0,91	0,88	0,19
Sla		IB	117	2,13	-0,49	-0,06	-0,19	0,70	0,67	0,29
Spinazie		IB	118	2,25	-0,31	-0,23	-0,16	0,83	0,72	0,30
Prei Maas		Maas	15	2,52	-1,22	-1,00	-0,24	1,40	0,48	0,29
Tomaat		IB L.	40	1,52	-0,75	ns	-0,21	0,51	0,41	0,25
Waspeen		IB L.	100	1,00	ns	ns	-0,20	0,29	0,43	0,25

¹ Gebruikte afkortingen voor datasets: IB (Smilde et al., ongepubliceerd), Maas (Van Driel et al., 1988), IB L. (Wiersma et al., 1986). Noot: voor zowel het bodem als het plantgehalte zijn de waarden op basis van droge stof gebruikt

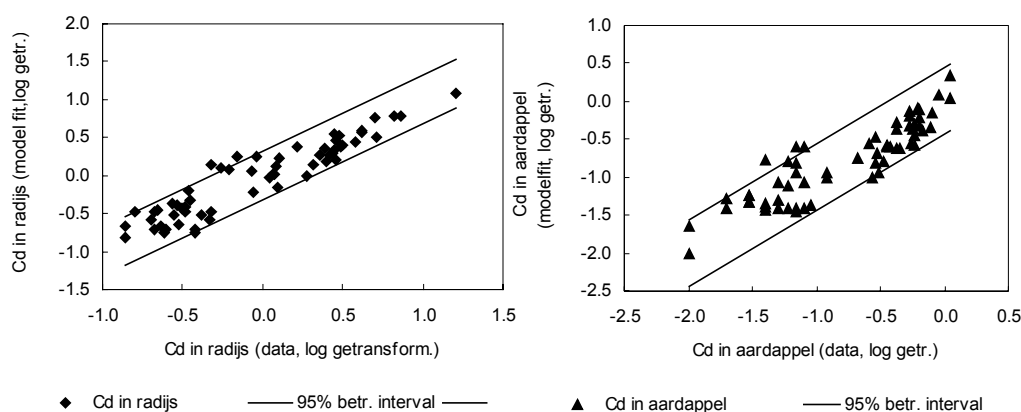
In Figuur 2.2 is voor de hier gebruikte gewassen een overzicht gegeven van de berekende (Y-as) en de gemeten (X-as) gehalten in de gewassen uit Tabel 2.3. Uit de figuur blijkt dat de afwijking van de berekende waarden ten opzichte van de gemeten waarden voor de verschillende gewassen over de hele range ongeveer hetzelfde blijft. Dat suggereert dat de fout in de voorspelling in ieder geval niet afhangt van de hoogte van het gehalte (geen systematische afwijking bij hogere of lagere gehalten). De data zijn op een logaritmische schaal weergegeven omdat anders de data van o.a. aardappel en radijs niet meer op een zelfde schaal weer te geven zijn als die van sla en andijvie.



Figuur 2.2 Toepassing van bodem plant relaties om het gehalte in gewassen (op droge stof basis) te voorspellen.

Betrouwbaarheid van de berekening van het gewasgehalte

Omdat echter het model niet 'perfect' is - er zit een afwijking tussen gemeten en berekende waarde - bestaat er een bandbreedte waarbinnen de voorspelling juist is. Deze kan meer of minder strikt bepaald worden, dwz de kans waarmee de voorspelling juist is, neemt toe met de mate van betrouwbaarheid. Vertaald naar een bandbreedte betekent dat deze toeneemt met een hogere betrouwbaarheid. Dat wil zeggen dat het gebied waarin met zekerheid geldt dat de modelvoorspelling daarbinnen ligt groter wordt. In Figuur 2.3 is voor twee gewassen het 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven. Omdat het model voor radijs (links) beter is dan dat voor aardappel (zie ook de modelgegevens in Tabel 2.3) is het betrouwbaarheidsinterval voor radijs smaller dan dat voor aardappel. De onzekerheid van de voorspelling voor radijs is dan ook kleiner dan die voor aardappel.



Figuur 2.3 95% betrouwbaarheidsinterval (van de voorspelde waarden) voor de schatting van het cadmiumgehalte in radijs (links) en aardappel (rechts). Noot: de schaal voor beide is niet gelijk, het betrouwbaarheidsinterval voor aardappel is groter dan dat voor radijs.

De data in Figuur 2.3 duiden aan dat de voorspelde waarden van de gehalten aan cadmium in het gewas met maximaal een factor 2 (voor radijs) tot 3.2 over- dan wel onderschat wordt (op een lineaire schaal). Hoewel dat een behoorlijke afwijking is, betekent dit niet dat dit ook voor elk punt het geval zal zijn. Zoals de data in Figuur 2.3 aangeven ligt de verhouding gemeten:berekend voor een groot aantal punten rond de 1 (dwz berekend \approx gemeten). Bovendien kan een factor 2 tot 3 als maximale afwijking gezien worden als indicatie voor een redelijk tot goed model, veel statistische modellen gebaseerd op velddata vertonen een beduidend grotere marge van onzekerheid.

Samenvatting

- *Voor sla, andijvie, radijs, wortel, tomaat, aardappel, spinazie en prei zijn bodem plant relaties afgeleid (vgl. 1, Tabel 2.3).*
- *Met behulp van organische stof, pH en soms klei kan het gewas gehalte bepaald worden (samen met het cadmiumgehalte in de bodem).*

2.4 Beschikbaarheid van cadmium in de bodem en het bodemvocht en de toepassing daarvan in risico analyse en normstelling

Achtergrond

Zware metalen zijn, anders dan bijvoorbeeld mobiele stoffen als stikstof, kalium en calcium slechts voor een beperkt deel opneembaar voor planten. Doordat metalen sterk adsorberen aan o.a. organische stof en klei is de hoeveelheid metaal die op een bepaald moment door een plant opgenomen kan worden vele malen kleiner dan de totale voorraad in de bodem. Deze verdeling van cadmium tussen de vaste fase en het bodemvocht hangt sterk af van onder andere de pH, de hoeveelheid organische-stofgehalte en klei en (onder natte omstandigheden) de redox potentiaal.

Met name voor de berekening van mogelijke effecten is het van belang een juiste schatting te kunnen maken van de hoeveelheid cadmium die 'beschikbaar' is. Deze beschikbaarheid is namelijk sturend voor zowel de opname door planten als ook voor de hoeveelheid cadmium die kan uitspoelen naar het grondwater. In de huidige normstelling wordt namelijk slechts in beperkte mate rekening gehouden met de verschillen in de beschikbaarheid. Omdat met name in de Kempen de bodem pH laag is, is de beschikbaarheid vaak hoog (bij lage pH komen metalen makkelijk in het bodemvocht en kunnen dan opgenomen worden). Vergeleken met bijvoorbeeld kleigronden zou de maximaal aanvaardbare hoeveelheid cadmium in een zandgrond dus ook lager moeten zijn, waarbij in een zure zandgrond deze weer lager is dan in een bekalkte akkerbouwgrond.

Zowel voor normstelling als ook voor de modelering van het gedrag van cadmium in de bodem is onderzoek gaande om de beschikbaarheid te meten. In deze paragraaf wordt ingegaan op de belangrijkste factoren die de beschikbaarheid sturen en hoe deze gemeten kan worden. Wanneer we namelijk het gedrag van cadmium op basis

van proceskennis kunnen beschrijven kunnen we ook beter de effecten onder veldcondities (opname, uitspoeling) modeleren dan op basis van statistische relaties zoals nu gebeurt voor de opname door gewassen.

Hiertoe worden de resultaten van een aantal testen besproken die op dit moment gebruikt worden om zowel de totale beschikbaarheid (welk deel van het cadmium in de bodem neemt deel aan de processen) als ook de verdeling van cadmium in het bodemvocht over verschillende 'fracties'. Ook in het bodemvocht kan cadmium namelijk in verschillende vormen voorkomen: als 'vrij' element, dwz als Cd^{2+} of aan verbindingen als OH^- en organische zuren. Met name de binding aan de organische zuren is van belang om dat metalen die gebonden zijn aan deze zuren weer minder beschikbaar zijn voor opname door gewassen.

Meting van beschikbare fractie cadmium in de bodem en bodemvocht: voorbeelden uit de Kempen

Gegeven de gebruikte veronderstelling dat de cadmium opname door de plant verloopt via cadmium opgelost in het bodemvocht kunnen de bandbreedtes rondom de voorspelde gewasgehalten mogelijk substantieel verlaagd worden door rekening te houden met de "beschikbaarheid" van cadmium in de bodem (schatting op basis van ECN uitlooggegevens gemiddeld ca. 60%, maar met hoge standaarddeviatie). Deze parameter kan betrouwbaar worden bepaald d.m.v. een extractie met 0,43 M HNO_3 . Ook zijn er sterke aanwijzingen dat de hoeveelheid vrij cadmium (Cd^{2+} ionen) in het bodemvocht sturend is voor het uiteindelijke gehalte in de plant.

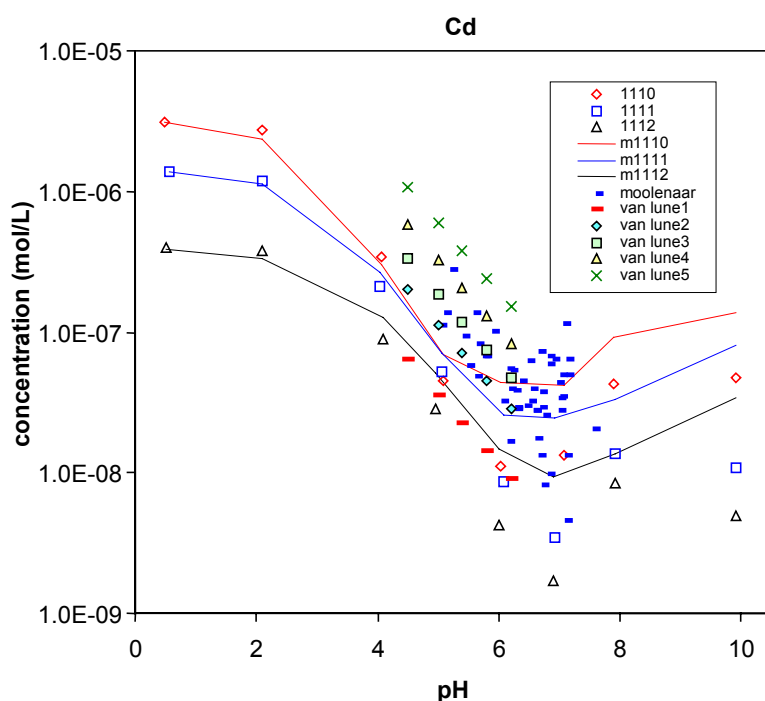
De variatie in het cadmiumgehalte in planten kan dus mogelijk verklaard (gemodelleerd) worden door rekening te houden met de verdeling van cadmium over de verschillende vormen in de bodemoplossing. Deze verdeling over verschillende vormen (speciatie) is vervolgens te berekenen d.m.v. geochemische modellering. Daarbij speelt de sterke binding aan opgeloste organische stof (DOC) de belangrijkste rol. Inzicht in de DOC concentratie in de bodemoplossing, b.v. door meting in een 10^{-3}M CaCl_2 extract, kan daarom bijdragen aan een verdere verkleining van de onzekerheidsmarges.

In de hierna volgende figuren worden deze relaties weergegeven op basis van resultaten van uitloogtesten aan gronden uit de Kempen. Dit betreft de invloed van pH op de concentratie aan cadmium in het bodemvocht (fig. 2.4). De lijnen zijn de berekende concentraties aan cadmium in het bodemvocht van 3 bodemmonsters (uit een profiel van landbouwgronden in de Kempen waar maïs verbouwd wordt), en de punten de deels gemeten, deels berekende concentraties in andere proeven. Omdat in deze figuur de verschillen in het cadmiumgehalte (van de bodem) niet weergegeven zijn, vallen niet alle punten op 1 lijn: punten met een hoog bodem cadmiumgehalte hebben bij een zelfde pH meer cadmium in het bodemvocht dan punten met een lager cadmiumgehalte in de bodem.

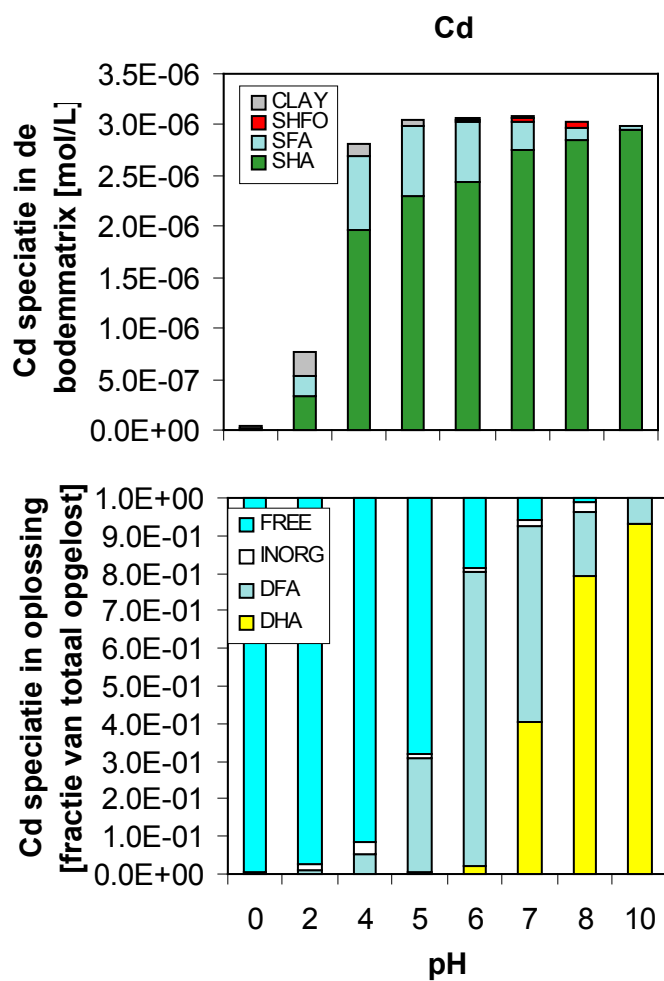
Figuur 2.5 laat het belang zien van organische stof op de binding van cadmium zowel aan de bodem (bovenste deel Figuur 2.5) als in het bodemvocht (onderste deel Figuur 2.5). Voor de binding aan de vaste bodemdelen geldt dat cadmium vrijwel

uitsluitend aan organische stof gebonden zit en slechts voor een heel klein deel aan klei mineralen en oxiden. In het bodemvocht zit cadmium bij pH waarden hoger dan 5 ook voor een groot deel gebonden aan oplosbaar organisch koolstof (DOC), terwijl bij lagere pH waarden het vrijwel uitsluitend als Cd^{2+} ('vrij' cadmium) aanwezig is. Dit is van belang omdat de opname van metalen die aan DOC gebonden zitten minder goed beschikbaar zijn voor opname door planten. De verdeling vrij - gebonden aan DOC kan dus mogelijk gebruikt worden om het gewasgehalte beter te modeleren.

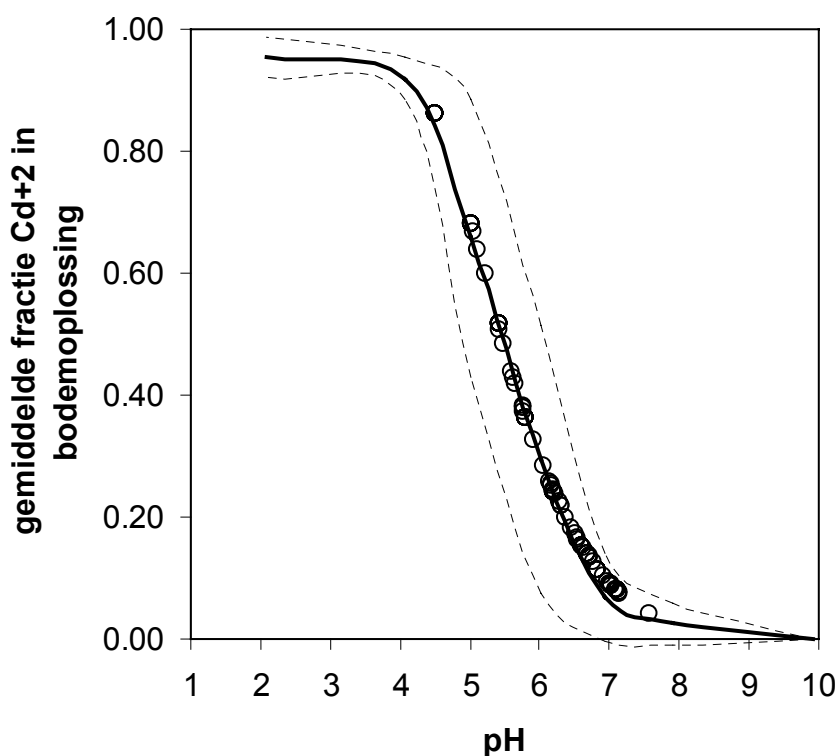
De verdeling tussen 'vrij' (Cd^{2+}) en gebonden (dwz in het bodemvocht aan organisch koolstof) is nog eens procentueel weergegeven in Figuur 2.6 als functie van pH. Deze verdeling betekent dus in feite dat bij lagere pH waarden de beschikbaarheid van cadmium voor planten nog extra stijgt vanwege het feit dat het dan uitsluitend als vrij cadmium in het bodemvocht aanwezig is. Mogelijk kunnen dergelijke resultaten leiden tot een verbeterd modelconcept waarbij meer rekening gehouden wordt met de speciatie van cadmium, zowel in de bodem als in het bodemvocht. Relatief eenvoudige metingen (namelijk met een verdund zuur als 0,43 N HNO_3) en een extract met verdund CaCl_2 (0,001 molair) kunnen daarbij dienen als benodigde modelinvoer.



Figuur 2.4 Cadmium uitloging als functie van pH uit 3 monsters van een bodemprofiel in de Kempen, bij een vloeistof/vaste stof verhouding van 2 L/kg. De lijnen geven de resultaten weer van een geochemisch model voor de cadmium speciatie in de bodem, rekening houdend met o.a. binding van cadmium aan vaste en opgeloste organische stof, ijzerhydroxiden en kleimineralen. De figuur toont tevens ter vergelijking de gegevens van Moolenaar, pers. meded., en van van Lune, IB-archief. De figuur illustreert de zeer sterke mate waarin cadmium in de oplossing afhangt van de (bodem) pH, in het relevante pH traject tussen pH 4 en 6.



Figuur 2.5 Speciatie van cadmium als functie van pH in bodem en uitloogoplossing, voor de toplaag (A-horizont) van een profiel in de Kempen, uitgelooft bij een vloeistof/vaste stof verhouding van 2 L/kg. De getoonde speciatie is berekend met een geochemisch model. In de vaste bodemmatrix is cadmium gebonden aan: klei (clay), ijzerhydroxide (SHFO), fulvozuur (SFA) en humuszuur (SHA). In de uitloog(bodem)oplossing wordt onderscheid gemaakt tussen met vrije Cd^{2+} ion (free), anorganisch gecomplexeerd Cd (inorg), opgelost fulvozuur (DFA) en opgelost humuszuur (DHA). De figuur toont duidelijk aan dat het (plant-beschikbare) vrije Cd^{2+} sterk afneemt in het relevante pH traject tussen pH 4 en 6, ten gunste van organisch gecomplexeerde (DFA) vormen.



Figuur 2.6 Vrij cadmium in de (bodem)oplossing, uitgedrukt als fractie van totaal opgelost cadmium, als functie van de (bodem) pH, voor 6 monsters uit twee bodemprofielen in de Kempen, berekend met een geochemisch model op basis van uitloogexperimenten (zie Figuur 1). De stippellijnen geven de standaarddeviatie aan in de berekeningen, die grotendeels bepaald wordt door verschillen in opgeloste organische stof (humus- en fulvozuren) waarmee cadmium sterk complexeert. De mate van complexatie met opgeloste organische stof kan dus bij een bepaalde pH, in de relevante range tussen pH 4 en 6, een onzekerheid van een factor 2-3 opleveren in de concentratie van het (plant-beschikbare) vrije Cd^{2+} ion. De figuur illustreert hiermee het belang van inzicht in de concentratie van DOC in de bodemoplossing, die b.v. kan worden gemeten in een 10^{-3}M CaCl_2 extract.

3 Berekening cadmiumgehalten in de bodem waarbij warenwetnorm wordt overschreden voor individuele gewassen

In dit hoofdstuk worden kritische cadmiumgehalten van de bodem berekend op basis van de relaties uit Hoofdstuk 2. Kritische cadmiumgehalten zijn gehalten in de bodem waarbij verwacht mag worden dat de warenwetnorm voor cadmium in het gewas overschreden zal worden. Zoals in Hoofdstuk 2 is beschreven, hangt dit af van het gewas en de bodemeigenschappen (zuurgraad, klei- en organischestofgehalte van bodem), maar ook de beschikbaarheid van het cadmium in de bodem zelf zoals eerder beschreven in Hoofdstuk 2). De warenwetnormen per gewas zijn voor cadmium gegeven in Bijlage 1.

In Tabel 3.1 worden de berekende kritische gehalten gegeven per gewas en als functie van de zuurgraad (pH). Bijvoorbeeld: verwacht wordt dat de warenwetnorm voor sla bij pH 6 pas overschreden wordt bij een cadmiumgehalte in de bodem van 1,1 mg kg⁻¹ (bij een bodem met een klei- en organischestofgehalte van 4%). Bij een relatief goede zuurgraad (pH 6,5) is spinazie het meest kritisch: bij een cadmiumgehalte van 0,6 mg kg⁻¹ grond overschrijdt je net de norm voor spinazie, maar niet voor de andere gewassen. Bij een slecht onderhouden tuin (pH 4; door weinig bekalking) zijn spinazie, andijvie en waspeen de meest kritische gewassen: bij een cadmiumgehalte van 0,2 mg kg⁻¹ zijn overschrijdingen van de gewasnormen te verwachten.

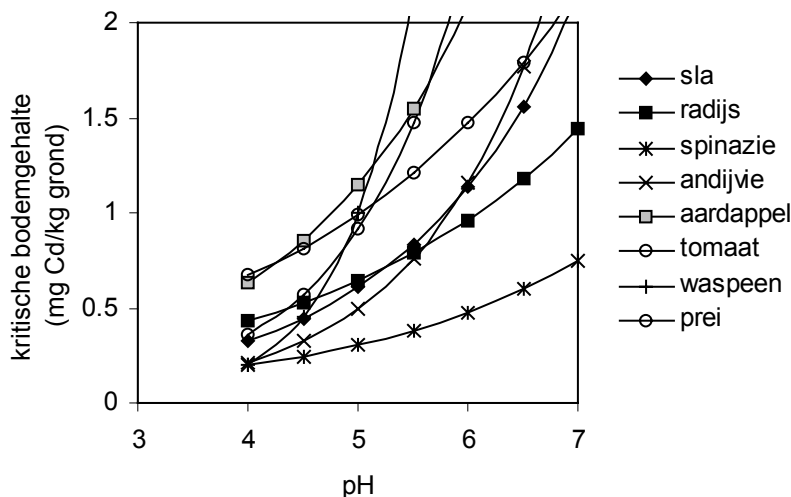
Tabel 3.1 Kritisch cadmiumgehalte van bodem als functie van gewas en zuurgraad (pH) bij een klei- en organischestofgehalte van 4%.

gewas	pH bodemvocht							
	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
sla	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,6	2,1
radijs	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
spinazie	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
andijvie	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	1,8	2,7
aardappel	0,5	0,6	0,9	1,2	1,6	2,1	2,8	3,8
tomaat	0,2	0,4	0,6	0,9	1,5	2,4	3,8	6,1
waspeen	0,1	0,2	0,5	1,0	2,2	4,9	11	24
prei	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2

Te zien is dat de kritische cadmiumgehalten (van de bodem) bij alle gewassen heel laag zijn in zure bodems. Dit betekent dat je in zure bodems al bij relatief lage cadmiumgehalten in bodem overschrijdingen van de warenwetnorm kunt verwachten.

In Figuur 3.1 staan de berekende kritische cadmiumgehalten in de bodem voor verschillende gewassen bij oplopende pH (bij een organisch stof- en kleigehalte van 4%). Uit Figuur 3.1 blijkt onder andere dat de pH afhankelijkheid niet voor alle

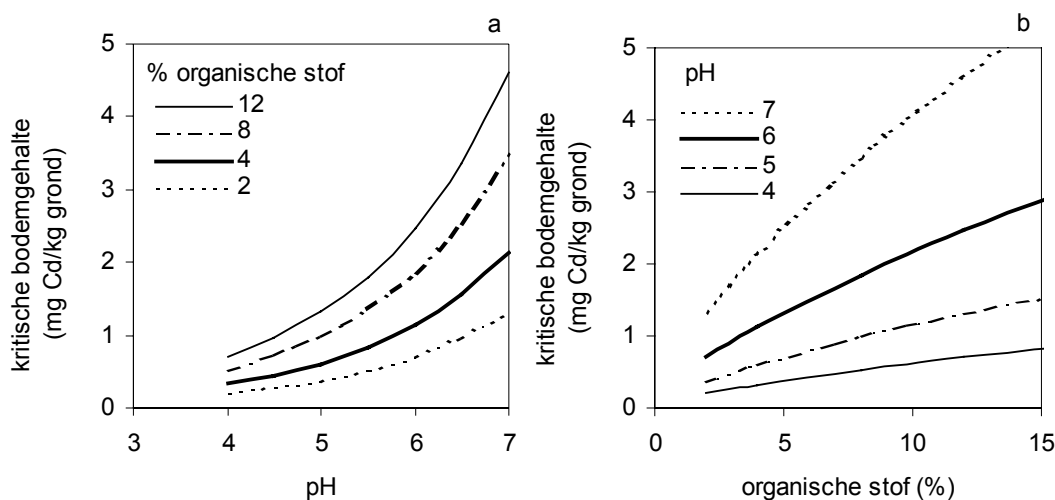
gewassen even sterk is. De helling van de verschillende lijnen is namelijk niet even steil. Zo neemt met toenemende pH het kritisch gehalte aan cadmium in de bodem voor andijvie sterker toe dan dat voor spinazie. Dat betekent concreet dat bekalken voor andijvie effectiever zal zijn dan voor spinazie.



Figuur 3.1 Kritische cadmiumgehalten van de bodem voor verschillende gewassen als functie van zuurgraad (pH) (bij een kleigehalte van 4% en een organischestofgehalte van 4%).

Eén van de meest algemeen geteelde gewassen is sla. Dit gewas is bovendien een van de gewassen die cadmium relatief sterk opneemt. In Figuur 3.2 zijn de berekende kritische cadmiumgehalten gegeven als functie van de bodemeigenschappen pH en organische stof. In deze figuur is goed het effect te zien van een verbeterd beheer van de bodem. Indien een tuintje een cadmiumgehalte van 1 mg kg^{-1} heeft en een organischestofgehalte van 2% dan is minstens een pH van 6,5 nodig in geval van sla (zie onderste curve in Figuur 3.2a). Indien een tuintje een cadmiumgehalte van 2 mg kg^{-1} heeft en een organischestofgehalte van 2 % dan is een pH van 7 niet voldoende. Het organischestofgehalte dient bij pH 7 minstens hoger dan 4% te worden (zie bovenste curve in Figuur 3.2b).

De berekende kritische cadmiumgehalten in de bodem worden voor sla weergegeven voor verschillende pH en organischestofgehalten in Tabel 3.2. Uit deze tabel is af te lezen wat het kritisch cadmiumgehalte in een bodem is bij bepaalde bodemeigenschappen. Bijvoorbeeld: in een grond met pH 6 en een organischestofgehalte van 2% is het kritische cadmiumgehalte $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ (zie Tabel 3.2). Bij dergelijke bodemeigenschappen en een cadmiumgehalte van 1 mg kg^{-1} is de verwachting dat sla niet voldoet aan de warenwetnorm. Ook is het mogelijk om bij een bepaald cadmiumgehalte in de bodem direct uit de tabel af te lezen of een verhoging van pH en/of organischestofgehalte nut heeft. Bij het genoemde voorbeeld is een pH verhoging nodig en/of een verhoging van het organischestofgehalte: verhoging naar pH 7 of een organischestofgehalte van 4% (buiten het grijze gebied).



Figuur 3.2 Kritische cadmiumgehalte van de bodem op basis van gewasnorm voor sla en het van effect van de bodemeigenschappen (resp. pH in fig. a (links) en organischestofgehalte in fig. b (rechts)) en bij een kleigehalte van 4%.

Tabel 3.2 Kritisch cadmiumgehalte van bodem (ds.) in relatie tot sla als functie van zuurgraad (pH) en organischestofgehalte (bij een kleigehalte van 4%). Het grijs gekleurde gebied geeft als voorbeeld de kritische bodemeigenschappen bij een cadmiumgehalte van 1 mg kg⁻¹ in de bodem. In het grijs gekleurde gebied zal het cadmiumgehalte van sla niet meer voldoen aan de warenwet norm in een bodem met 1 mg kg⁻¹ cadmium (cadmium kritisch lager dan cadmium- bodem)

pH	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
organisch stofgehalte %								
2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,3
4	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,6	2,1
8	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	1,9	2,5	3,5
12	0,5	0,7	1,0	1,3	1,8	2,5	3,4	4,6
20	0,7	1,0	1,4	1,9	2,6	3,5	4,8	6,6

De getallen in Tabel 3.2 geven aan dat vanaf een cadmiumgehalte in de bodem van 2,5 mg kg⁻¹ het niet meer mogelijk is om met bodem verbetering (pH controle, organische stof toevoegen) de gewaskwaliteit te sturen. Immers bij een cadmiumgehalte van 2,5 mg kg⁻¹ of meer zou het organischestofgehalte al minimaal 8% moeten zijn (bij pH 6,5). Verdere verhoging lijkt niet haalbaar zonder onrealistisch hoge doseringen. Bij 4% organische stof is een gehalte van 2,5 mg kg⁻¹ al te hoog, zelfs bij pH 7 (cadmium-kritisch bij pH 7 en 4% organische stof = 2,1 mg kg⁻¹). Verhoging van de pH tot waarden rond 7 heeft bij deze cadmiumgehalten dan ook weinig zin.

Ingrijpen in de bodemchemie via bekalken of organische stof toevoegen heeft dus alleen zin bij cadmiumgehalten tussen 1 en 2 à 2,5 mg kg⁻¹. Daarbij geldt wel dat het verhogen van de pH effectiever (en eenvoudiger!) is dan het verhogen van het organischestofgehalte. Handhaven van het organische stof gehalte door gebruik van compost of andere organische materialen wordt in deze bodems wel aanbevolen.

De hier gepresenteerde kritische cadmiumgehalten komen globaal overeen met de adviezen die door de toenmalige consultantschapen verstrekt zijn behalve dat we hier het effect van de organische stof en zuurgraad gedetailleerd weergeven (Van der Kolk, 1987). Geadviseerd werd bijvoorbeeld: bij cadmiumgehalten van $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ of lager kan sla zonder bezwaar geteeld worden. Bij cadmiumgehalten van $0,7$ tot 1 mg kg^{-1} en $\text{pH} > 6$ kan aangenomen worden dat er geen normoverschrijding plaatsvindt. We zien in bovenstaande tabel dat dit gereproduceerd wordt (indien organische-stofgehalte groter is dan 2%). Echter: gewassen als aardappel en wortel worden als matig geclassificeerd als het gaat om cadmiumopname ten opzichte van spinazie en sla, wat overeenkomt met de huidige gegevens bij een goed onderhouden tuin ($\text{pH } 6,5$) terwijl we zien dat bij $\text{pH } 4$ en 5 deze gewassen ook relatief veel cadmium opnemen.

Samenvatting

- *Op basis van de bodem plant relaties is het cadmiumgehalte in de bodem berekend waarbij voor de individuele gewassen de warenwet norm wordt overschreden.*
- *Dit gehalte varieert van $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (voor spinazie) tot 11 mg kg^{-1} (voor waspeen) bij een pH van $6,5$.*
- *Het effect van pH op de hoogte van het kritisch bodemgehalte is sterker dan dat van organische stof.*
- *Bij cadmiumgehalten van meer dan $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ in de bodem heeft pH verhoging tot $6,5$ of toevoer van organische stof geen zin om de gewas kwaliteit te verbeteren.*

4 Berekening van blootstelling op basis van CSOIL

4.1 Aanpak

Scenario's

In de scenarioanalyse berekenen we de blootstelling van de mens met behulp van het blootstellingsmodel CSOIL. Voordat naar het effect van maatregelen wordt gekeken zal worden nagegaan wat de risico's van cadmium zijn voor verschillende scenario's. De scenario's verschillen wat betreft

- a) De bodemeigenschappen (pH, en organische stof),
- b) Het cadmiumgehalte in de bodem, en
- c) De hoeveelheid gewas die uit eigen tuin gegeten wordt.

Het doel is na te gaan in hoeverre de blootstelling van de mens en de bijbehorende risico's afhankelijk zijn van deze parameters.

We nemen hiervoor een aantal uitgangsscenario's:

- Een goed onderhouden moestuin, de pH ligt dan rond de 6,5.
- Een matig tot slecht onderhouden moestuin. De pH wordt niet bijgehouden en is lager dan gemiddeld (rond 4,5).

Het organischestofgehalte in de zandgronden in de de Kempen is normaal en ligt rond de 4%. Als alternatief zijn ook berekeningen uitgevoerd van de blootstelling bij een verhoogd organisch stofgehalte van 8%. Verder wordt uitgegaan van een voor de Kempen gemiddeld kleigehalte van 4%.

Voor beide uitgangsscenario's werken we met drie cadmiumgehalten in de bodem, namelijk één op een relatief laag niveau (ongeveer $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$) één op een verhoogd niveau ($2,5 \text{ mg kg}^{-1}$), zoals dat door depositie kan voorkomen, en een hoog niveau (10 mg kg^{-1}), zoals dat vooral in de sedimentatie gebieden voorkomt. Hogere waarden zijn niet echt waarschijnlijk. De voor de risicoschatting relevante concentraties bevinden zich vooral in de bovenste tientallen centimeters.

Voor het variëren van de hoeveelheid geconsumeerd gewas, gaan we uit van 2 standaard blootstellingsscenario's: 'wonen met tuin' en 'wonen met moestuin'. Deze scenario's worden hierna kort toegelicht.

De combinatie van de genoemde variaties levert de volgende scenario's waarvoor de blootstelling van de mens is doorgerekend en uitgedrukt in een risico index. In Tabel 4.1 geven we een samenvatting van de scenario's.

Tabel 4.1 Overzicht van scenario's voor blootstelling via consumptie van groenten uit eigen tuin door mensen in de Kempen

Maatregel scenario	Omschrijving	Bodemeigenschappen			
		cadmium bodem	Org stof	Klei	pH
1	Goed onderhouden, laag belast	0,5	8	4	6,5
2	Goed onderhouden, normaal belast	2,5	8	4	6,5
3	Goed onderhouden, hoog belast	10	8	4	6,5
4	Goed onderhouden, laag belast, laag org. stof	0,5	4	4	6,5
5	Goed onderhouden, normaal belast, laag org. stof	2,5	4	4	6,5
6	Goed onderhouden, hoog belast, laag org. stof	10	4	4	6,5
7	Slecht onderhouden, laag belast	0,5	8	4	4,5
8	Slecht onderhouden, normaal belast	2,5	8	4	4,5
9	Slecht onderhouden, hoog belast	10	8	4	4,5
10	Slecht onderhouden, laag belast, laag org. stof	0,5	4	4	4,5
11	Slecht onderhouden, normaal belast, laag org. stof	2,5	4	4	4,5
12	Slecht onderhouden, hoog belast, laag org. stof	10	4	4	4,5

4.2 Gewasconsumptie en consumptiepakket

Voor de risicoanalyse is uitgegaan is van de gemiddelde consumptiehoeveelheid van groenten en aardappels in Nederland. Deze is gebaseerd op de Nationale voedsel consumptie peiling 1997-1998 (Voedingscentrum, 1998). Het consumptiepatroon, dat wil zeggen welke groenten gegeten worden en in welke hoeveelheden, is gebaseerd op het onderzoek van Dooren-Flipsen et al. (1996, zie Tabel 4.2).

Met behulp van de gegevens over het consumptiepatroon wordt, voor de risicoanalyse, een hoger gewicht gegeven aan de cadmiumgehalten in vaak en veel gegeten gewassen (zoals aardappels) en een lager gewicht aan weinig gegeten gewassen (zoals radijs). Het resultaat is dat bij de risicoanalyse rekening gehouden wordt met de variëteit van de consumptie (Versluijs en Otte, 2001).

Het standaard bodemgebruik 'wonen met tuin' gaat daarom uit van een consumptie uit eigen tuin van gemiddeld 10% voor zowel groenten als aardappels. Voor het bodemgebruik 'wonen met moestuin' wordt uitgegaan van een hogere consumptie uit eigen tuin: 100% groenten en 50% aardappelen uit eigen tuin. Dit lijkt op het eerste oog extreem, maar wetende dat mensen met een moestuin gemiddeld meer groente eten dan de gemiddelde Nederlander (400 g pp dag⁻¹ tegen 260 g pp dag⁻¹; Hulshof, 1988), maakt de aannamen realistisch voor dit bodemgebruik.

Het deel van de consumptie dat afkomstig is uit eigen tuin in deze scenario's is mede gebaseerd op het feit dat 18% van de populatie (mensen met een eigen tuin) gemiddeld 54% van zijn groenten uit de eigen tuin eet en 13% van zijn aardappels uit eigen tuin (Otte et al., 2001; Hulshof, 1988; Van de Ven-Breken, 1990).

Tabel 4.2 Gewassen en bijbehorende consumptie daarvan bij een gemiddelde Nederlandse consumptie in gram versgewicht per persoon per dag ('normale consumptie'; Otte et al., 2001).

gewas groep	gewas	Consumptie versgewicht	gewas groep	gewas	Consumptie versgewicht
aardappelen	aardappelen	179,68	kool	rode kool	5,13
wortel	Rode bieten	5,15		spitskool	2,03
en knolgewassen	Wortelen	13,43		boerenkool	4,93
	Selderijknol	0,78		broccoli	1,98
	Koolraap	0,81	bladgroenten	sla	8,48
	Radijs	0,43		andijvie	7,42
	Winterpeen	0,16		spinazie	10,42
bolgewassen	uien	17,01		witlof	9,17
	prei	12,86	verse	sperziebonen	11,66
vruchtgewassen	tomaat	26,07	peulvruchten	snijbonen	3,14
	komkommer	8,03		tuinbonen	2,5
	meloen	2,23		tuinerwten	14,78
	maïskolf	1,41	bonen	witte bonen	0,89
kool	bloemkool	16		bruine bonen	1,76
	spruitjes	4,66	stengelgroenten	rabarber	0,71
	witte kool	6,98		asperge	1,74

Voor de risicoanalyse zijn de gewassen gegroepeerd per type gewas. Wanneer voor een bepaald gewas geen gegevens over opname beschikbaar zijn, maar van andere gewassen binnen die groep wel, dan wordt voor dat gewas de opname van de andere gewassen binnen die groep gebruikt. Wanneer voor een hele groep gewassen geen gegevens bestaan, vervalt de hele groep in de risicobeoordeling. De geschatte opname in andere gewasgroepen is dan representatief voor de ontbrekende groep. (de totale hoeveelheid geconsumeerd gewas blijft wel gelijk).

4.3 Gebruikte bodem-gewas relaties

Tabel 4.3 geeft per gewas de bijzonderheden van de gebruikte bodem-gewas relaties. De basisrelatie staat beschreven in Hoofdstuk 2. In Tabel 4.3 zijn de constante en de verschillende coëfficiënten gegeven. Voor enkele gewassen kon geen bodem-gewas relatie worden afgeleid. In die gevallen is gebruik gemaakt van een constante BioConcentratieFactor tussen bodem-gewas (BCF). In tegenstelling met de bodem-gewas relaties is deze BCF niet afhankelijk van bodemeigenschappen en van bodemgehalte. Wel zijn deze BCF gebaseerd op empirische gegevens van gewassen geteeld op bodems met verhoogde gehalten.

De weegfactor in Tabel 4.3 geeft het gewicht aan van het betreffende gewas in de risicobeoordeling op basis van de gemiddelde consumptie in Tabel 4.2 en het droge stofgehalte van het gewas. Bijvoorbeeld, de blootstelling van cadmium door de consumptie van gewassen uit de moestuin wordt voor 61% bepaald door de consumptie van aardappels.

Tabel 4.3 Weegfactor per gewas bij 'gemiddelde consumptie', coëfficiënten van de bodem-gewas relaties (vergelijking 1 uit paragraaf 2.1) en generieke BCF² (voor de gewassen waarvoor geen relaties beschikbaar zijn).

	Weegfactor	Constante	Org. stof %	Klei %	pH	Cadmium bodem	BCF
Aardappelen	61,64	0,97	-0,41	-0,2	-0,21	0,81	0,31
Rode bieten	1,34						
Wortelen	3,37	1	0	0	-0,2	0,29	
Radijs	0,05	1,59	-0,64	-0,22	-0,16	0,91	
Prei	4,49	2,52	-1,22	-1	-0,24	1,4	
Tomaat	3,21	1,52	-0,75	0	-0,21	0,51	0,29
Witte kool	0,67						
Rode kool	0,89						
Spitskool	0,20						
Boerenkool	1,57						
Sla	0,80	2,13	-0,49	-0,06	-0,19	0,7	0,22
Andijvie	0,95	3,24	-0,88	-0,21	-0,34	0,92	
Spinazie	1,80	2,25	-0,31	-0,23	-0,16	0,83	
Witte bonen	0,42						
Bruine bonen	0,83						

1) weegfactoren volgens Versluijs en Otte, 2001

BCF waarden volgens Versluijs en Otte, 2001

Niet voor elk gewas dat wordt gegeten zijn bodem-gewas relaties beschikbaar. Om toch tot een dekkende risicoanalyse te komen zijn de berekende plantgehalten opgeschaald naar het totale consumptiepakket aan moestuin gewassen.

Zoals eerder in Hoofdstuk 2 is opgemerkt moet men uiterst voorzichtig zijn met het gebruik van de relaties buiten de dataset waarmee deze zijn afgeleid (extrapolatie).

Tabel 4.4 geeft, voor de onderliggende datasets, de maximale waarden voor het bodemgehalte, pH, organisch stof en klei.

In situaties waar de maximale waarde van één van de parameters wordt overschreden, wordt in het verdere traject een lineair verband verondersteld tussen bodemgehalte en plantgehalte. In andere woorden, de BCF wordt constant gehouden in geval van extrapolatie. Dit wordt beschouwd als een veilige benadering (Otte et al., 2001).

Tabel 4.4 Maximale waarden van de datasets die zijn gebruikt om de bodem-gewas relaties af te leiden.

Parameter	max waarde	eenheid
Bodemgehalte Cd	5	mg kg ⁻¹ d.s.
pH	7,6	-
Organische stof	28	%
Klei	40	%

4.4 Resultaten

Alle blootstellingsberekeningen worden uitgedrukt in een risico-index (RI). Deze index geeft de verhouding tussen de blootstelling aan cadmium vanuit de bodem en het Maximaal Toelaatbaar Risico voor de mens (MTR). Voor cadmium is de MTR gelijk aan de TDI (Toelaatbare Dagelijkse Inname van 0,5 $\mu\text{g.kg}_{\text{lichaamsgewicht}}^{-1}.\text{dag}^{-1}$).

Indien de risico index kleiner is dan 1 dan zijn gezondheidseffecten ten gevolge van het gebruik van met cadmium verontreinigde bodem uitgesloten.

Hierbij wordt geen rekening gehouden met de blootstelling van cadmium vanuit andere bronnen (water, lucht). Indien men daarmee wel rekening wenst te houden dan zal men toetsing op de risico index moeten aanpassen (zie 'achtergrondblootstelling').

Alvorens ingegaan wordt op de blootstelling via de consumptie van gewassen, wordt eerst kort ingegaan op de grootte van de generieke achtergrondblootstelling van de mens aan cadmium (niet via de bodem) en de blootstelling aan cadmium via ingestie van grond

Achtergrondblootstelling

Tabel 4.5 geeft de achtergrondblootstelling van cadmium voor de niet-roker en voor de roker. Indien men bij de beoordeling van het risico van cadmium rekening wenst te houden met de blootstelling vanuit andere bronnen (achtergrondblootstelling) dan is een risico index van 0,5 acceptabel (rekening houdend met blootstelling vanuit voeding).

Tabel 4.5 Achtergrondblootstelling (AB) en MTR voor cadmium volgens Baars et al. (2001)

MTR		AB	
ug.kg ⁻¹ .d ⁻¹	Belangrijkste route	ug.kg ⁻¹ .d ⁻¹	% van MTR
0,5	Voedsel	0,22	44
	Roken+voedsel	0,53	>100

Ingestie van grond

Naast de blootstelling door de consumptie van gewassen uit eigen tuin levert ook de ingestie van grond een bijdrage aan de totale levenslang gemiddelde blootstelling.

In Tabel 4.6 wordt de procentuele bijdrage van de directe ingestie van grond gegeven voor elk scenario. Om dit in het juiste perspectief te kunnen zien is ook de procentuele bijdrage via de consumptie van gewassen gegeven.

Tabel 4.6 Procentuele bijdrage van de blootstellingsroutes ingestie van grond en de consumptie van gewas voor de verschillende scenario's (%).

Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cadmium-bodem (mg kg ⁻¹ d.s.)	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10
Organische stof (%)	8	8	8	4	4	4	8	8	8	4	4	4
Klei (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
pH KCl	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Wonen met moestuin¹												
Ingestie van grond	0,78	1,05	1,15	0,60	0,77	0,83	0,33	0,45	0,49	0,24	0,31	0,33
Consumptie van gewas	99,2	98,9	98,8	99,4	99,2	99,2	99,7	99,5	99,5	99,8	99,7	99,7
Wonen met tuin¹												
Ingestie van grond	5,22	6,87	7,50	4,01	5,14	5,51	2,28	3,04	3,32	1,68	2,14	2,28
Consumptie van gewas	94,7	93,1	92,4	96,0	94,8	94,4	97,7	96,9	96,7	98,3	97,8	97,7

¹ de som van ingestie en consumptie is gelijk aan 100%

Consumptie van gewas

De consumptie van gewas is, voor cadmium, veruit de meest dominante blootstellingsroute (zie Tabel 4.6). Tabel 4.7 geeft voor de verschillende gewassen de concentraties in de eetbare delen.

Tabel 4.7 Concentraties aan cadmium in de verschillende gewassen voor de verschillende scenario's. De concentraties zijn gegeven in mg kg^{-1} d.s.

Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cadmium-bodem (mg kg^{-1} d.s.)	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10
Organische stof (%)	8	8	8	4	4	4	8	8	8	4	4	4
Klei (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
pH KCl	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Aardappelen	0,07	0,27	0,96	0,10	0,36	1,27	0,20	0,72	2,52	0,26	0,96	3,35
Rode bieten *	0,16	0,78	3,10	0,16	0,78	3,10	0,16	0,78	3,10	0,16	0,78	3,10
Wortelen *	0,41	0,65	1,60	0,41	0,65	1,60	1,03	1,64	4,02	1,03	1,64	4,02
Radijs	0,37	1,59	5,98	0,57	2,48	9,32	0,77	3,32	12,49	1,20	5,18	19,47
Prei	0,07	0,65	3,43	0,16	1,52	8,00	0,21	1,96	10,37	0,48	4,58	24,16
Tomaat	0,21	0,48	1,37	0,35	0,81	2,30	0,55	1,26	3,59	0,93	2,12	6,04
Witte kool *	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90
Rode kool *	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90
Spitskool *	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90	0,15	0,73	2,90
Boerenkool *	0,11	0,55	2,20	0,11	0,55	2,20	0,11	0,55	2,20	0,11	0,55	2,20
Sla	1,61	4,95	16,09	2,25	6,96	22,60	3,85	11,88	38,61	5,41	16,69	54,22
Andijvie	0,68	2,99	11,30	1,25	5,49	20,79	3,25	14,29	54,07	5,98	26,29	99,50
Spinazie	3,48	13,24	47,07	4,32	16,41	58,35	7,27	27,66	98,34	9,02	34,29	121,92
Witte bonen *	0,21	1,05	4,20	0,21	1,05	4,20	0,21	1,05	4,20	0,21	1,05	4,20
Bruine bonen *	0,21	1,05	4,20	0,21	1,05	4,20	0,21	1,05	4,20	0,21	1,05	4,20

* Voor deze gewassen is de cadmiumconcentratie berekend met een vaste BCF (zie Tabel 4.1). Voor deze gewassen is er dus geen afhankelijkheid van bodemtype. De afhankelijkheid van de bodemconcentratie is lineair.

Over de opname van cadmium door de verschillende gewassen is het volgende op te merken:

- Spinazie, sla en andijvie accumuleren het meeste cadmium;
- De hoogste gewasconcentraties worden aangetroffen bij bodems met een lage pH en een laag organisch stofgehalte;
- De toename van het cadmiumgehalte in de plant neemt af bij hogere bodemgehalten (met uitzondering van prei).

Risico-indices voor wonen met moestuin en wonen met tuin

Tabel 4.8 geeft de risico-indices voor de verschillende scenario's.

Tabel 4.8 Risico indices voor wonen met moestuin en wonen met tuin voor de verschillende scenario's.

Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cadmium-bodem (mg kg ⁻¹ d.s.)	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10
Organische stof (%)	8	8	8	4	4	4	8	8	8	4	4	4
Klei (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
pH KCl	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Risico index												
Wonen met moestuin	0,16	0,58	2,13	0,21	0,79	2,95	0,37	1,37	5,00	0,50	1,96	7,35
Wonen met tuin	0,02	0,09	0,33	0,03	0,12	0,44	0,05	0,20	0,74	0,07	0,29	1,07

Over de risico indices is het volgende op te merken:

- Voor wonen met moestuin wordt het risico onaanvaardbaar ($RI >>1$) bij hoge bodemgehalten aan cadmium ($> 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$) en op zure bodems.
- Voor wonen met moestuin wordt het risico kritisch bij $2,5 \text{ mg cadmium kg}^{-1}$ in de bodem ($RI >0,5$), onafhankelijk van het organisch stofgehalte en de pH. Dit geldt zeker wanneer we ook de bijdrage van de achtergrondblootstelling in beschouwing nemen (naar schatting $0,5 \text{ MTR}$).
- Bij wonen met tuin zijn hogere cadmiumgehalten in de bodem toelaatbaar. Slechts bij lage pH en/of een laag organisch stof gehalte wordt een cadmiumgehalte in de bodem van 10 mg kg^{-1} kritisch.

4.5 Bijdrage van verschillende gewassen aan blootstelling

Uit Tabel 4.8 blijkt duidelijk dat de blootstelling via consumptie van groenten uit eigen tuin leidt tot onacceptabele blootstelling wanneer er sprake is van (een combinatie van) verhoogde cadmiumgehalten in de bodem en een lage pH. Om te bepalen of een of meerdere gewasgroepen specifiek bijdragen aan de blootstelling, is nagegaan wat de bijdrage van gewassen is aan de totale cadmiumbelasting via voedsel. Hiertoe zijn de weegfactoren in Tabel 4.3 vermenigvuldigd met de berekende gewasgehalten uit Tabel 4.7. Dit is gedaan voor het scenario 'wonen met moestuin' (50% aardappelen uit eigen tuin en 100% groenten uit eigen tuin). De relatieve bijdrage van de gewassen aan de blootstelling kan zodoende worden berekend (resultaten in Tabel 4.9). Door nu na te gaan wat de bijdrage van de verschillende groepen is aan de totale risico index kan nagegaan worden in hoeverre de risico index zou dalen wanneer een of meerdere gewassen niet meer geconsumeerd worden (zie Hoofdstuk 5).

Tabel 4.9. Bijdrage (in procent) van de verschillende gewasgroepen aan de totale blootstelling van cadmium.

	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10	0,5	2,5	10
Cadmium-bodem (mg kg ⁻¹ d.s.)												
Organische stof (%)	8	8	8	4	4	4	8	8	8	4	4	4
Klei (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
pH KCL	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Aardappelen	15,8	16,6	16,3	17,1	16,4	15,7	18,9	18,8	18,2	18,3	17,7	16,6
Rode bieten	1,6	2,1	2,3	1,2	1,5	1,7	0,7	0,9	1,0	0,5	0,6	0,7
Wortelen	10,1	4,4	3,0	7,7	3,2	2,2	10,7	4,7	3,2	7,9	3,3	2,2
Radijs	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Prei	2,3	5,8	8,5	4,0	10,1	14,4	2,9	7,5	10,9	4,9	12,3	17,5
Tomaat	4,9	3,1	2,4	6,2	3,8	3,0	5,4	3,4	2,7	6,8	4,1	3,1
Witte kool	0,7	1,0	1,1	0,6	0,7	0,8	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3
Rode kool	1,0	1,3	1,4	0,7	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,4
Spitskool	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Boerenkool	1,3	1,7	1,9	1,0	1,3	1,4	0,5	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6
Sla	9,4	7,9	7,1	10,0	8,2	7,3	9,5	8,0	7,2	9,9	8,0	7,0
Andijvie	4,7	5,7	5,9	6,6	7,7	7,9	9,5	11,5	12,0	13,0	14,9	15,2
Spinazie	45,9	47,5	46,7	43,2	43,7	42,2	40,2	42,2	41,4	37,0	36,9	35,3
Witte bonen	0,6	0,9	1,0	0,5	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3
Bruine bonen	1,3	1,7	1,9	1,0	1,3	1,4	0,5	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6

Uit Tabel 4.9 kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De inname via aardappelen is groot vanwege de *hoeveelheid* die geconsumeerd wordt, en
- De inname via bladgroenten (sla, andijvie, spinazie) en prei is groot omdat de *gehalten* in de gewassen zo hoog zijn.

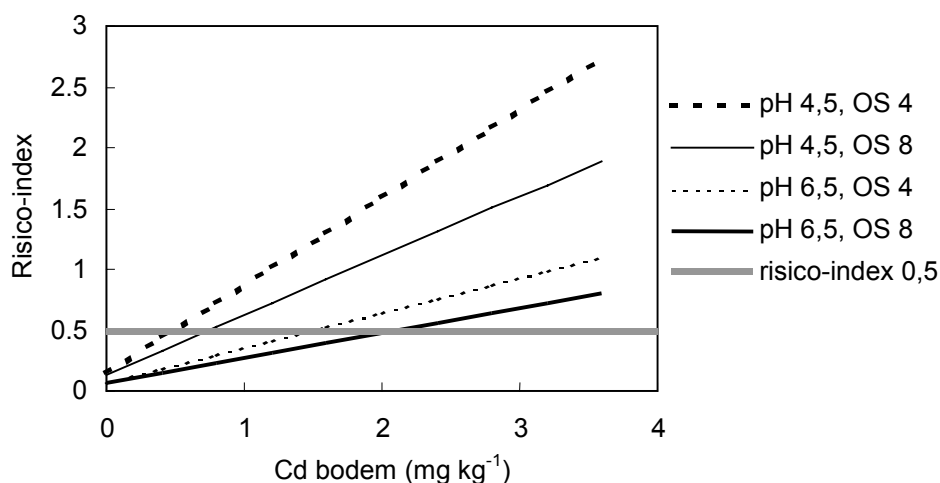
Kanttekening hierbij is wel dat niet van alle geteelde gewassen (zie Tabel 4.2) relaties bekend zijn en in deze tabel zijn opgenomen (b.v. courgette en sperziebonen). Hierdoor kunnen ook nog andere gewassen relevante bijdrage leveren of de bijdrage van de genoemde gewassen doen afnemen.

Bij het nemen van maatregelen zal daarom ook gekeken worden wat het effect is van het niet consumeren van een of meerdere van deze groenten uit eigen tuin (teeltadvies). Daarbij wordt de pakketkeuze omgerekend naar een risico-index die aangeeft of de keuze leidt tot een acceptabele blootstelling (dwz een risico index < 0,5).

4.6 Relatie bodemgehalte en risico-index

In Figuur 4.1 zijn de resultaten uit Tabel 4.8 grafisch weergegeven, waarbij het verband tussen het cadmiumgehalte in de bodem en de risico index (Y-as) is weergegeven. Ter informatie is de risicoindex van 0,5 weergegeven als een horizontale lijn. Deze risicoindex zou niet overschreden moeten worden wanneer

rekening wordt gehouden met de achtergrondblootstelling (blootstelling aan andere bronnen dan bodemverontreiniging). Voor elk van de 4 scenario-groepen (pH 6,5/O.S. 4%; pH 6,5/O.S. 8%, pH 4,5/O.S. 4% en pH 4,5/O.S. 8%) is het verband tussen het cadmiumgehalte in de bodem en de risicoindex weergegeven. Het blijkt dat er een (vrijwel) lineair verband bestaat tussen de risicoindex en het bodemgehalte. Dit geldt voor het hier gebruikte scenario 'wonen met moestuin' en aannamen over het voedselpakket.



Figuur 4.1 Verband tussen het cadmiumgehalte in de bodem en de berekende risico index op basis van CSOIL voor het scenario 'wonen met moestuin'. De horizontale lijn geeft de risico index van 0,5 weer.

Wanneer we de data uit Figuur 4.1 interpreteren dan blijkt dat bij cadmiumgehalten hoger dan 2 à 2,5 mg kg⁻¹ ook bij pH 6,5 de consumptie uit eigen tuin te leiden tot een onacceptabel risico index, ofwel een te hoge blootstelling. Bij zure bodems blijkt het kritische cadmiumgehalte veel lager, afhankelijk van het organischestofgehalte tussen 0,5 en 0,7 mg kg⁻¹. Sturing van pH en organischestofgehalte zal dus zeker leiden tot een verlaging van de blootstelling (zie Hoofdstuk 5).

Samenvatting

- Consumptie van eigen groenten uit een moestuin leidt tot verhoogde blootstelling bij lage pH waarden (pH < 6) en verhoogde cadmiumgehalten (cadmium > 0,5 mg kg⁻¹) in de bodem.
- Deze verhoogde blootstelling overschrijdt de huidige MTR waarde van 0,5 ug.kg_g⁻¹.d¹.
- Wanneer de pH wordt verhoogd tot 6,5 kan tot een cadmiumgehalte van 1,5 (bij 4% organische stof) a 2,5 mg kg⁻¹ (bij 8% organische stof) een volledig pakket uit eigen tuin gegeten worden.
- In het bijzonder spinazie (en overige bladgroenten) en prei dragen sterk bij aan de totale blootstelling.
- De ingestie van grond draagt nauwelijks bij aan de totale blootstelling

5 Maatregelen om blootstelling te reduceren

Uit de resultaten van de analyse met CSOIL blijkt dat in zandgronden in de Kempen met verhoogde cadmiumgehalten en lage pH waarden de blootstelling via consumptie van groenten uit eigen tuin te hoog kan zijn. Het is echter niet zo dat consumptie uit tuinen in de Kempen niet mogelijk is. Als voornaamste conclusie uit het voorgaande onderzoek blijkt dat maatregelen om de zuurgraad te verhogen het meest effectief zijn, al dan niet in combinatie met teeltadviezen. In hoofdlijnen kunnen 3 typen maatregelen onderscheiden worden:

1. Methoden om de beschikbaarheid van cadmium in de bodem te verlagen en daarmee de opname door gewassen te verlagen bij een gelijkblijvend bodemgehalte.
2. Verlaging van het gehalte in de bodem waardoor eveneens de opname door gewassen verlaagd wordt, en
3. Een teeltadvies op basis waarvan het afgeraden wordt om bepaalde gewassen te telen.

5.1 Methoden om de beschikbaarheid van cadmium in de bodem te verlagen en daarmee de opname door gewassen te verlagen bij een gelijkblijvend bodemgehalte

Uit de gegevens in Hoofdstuk 2 en 3 blijkt dat de zuurgraad en in mindere mate het organischestofgehalte bepalend zijn voor de opname van cadmium. Aanbevolen wordt dan ook om in tuinen met cadmiumgehalten tussen de 0,5 en 2 mg kg⁻¹ de pH te verhogen tot waarden rond 6,5. Bij die pH is gebleken dat consumptie uit tuinen geen onacceptabel risico oplevert, dwz er vindt geen overschrijding van de MTR plaats en de cadmiumgehalten van de individuele gewassen voldoen ook aan de warenwetnorm. Bij hogere gehalten aan cadmium is pH sturing via bekalking onvoldoende.

Mogelijke middelen zijn gangbare kalkmeststoffen, maar ook minder conventionele middelen als cement. Een additie van 1% aan de bouwvoor leverde in de proeftuin te Budel een verhoging van de pH op van de oorspronkelijke waarde van 4,5 naar waarden tussen 6,5 en 7.

Het organischestofgehalte zou in ieder geval rond de 4% moeten zijn. Bij waarden lager dan 2% verdient het aanbeveling om organische stof toe te voegen hetzij in de vorm van schone compost, turf etc. (gangbare middelen). Bij een cadmiumgehalte van 1,5 à 2 mg kg⁻¹ verdient het aanbeveling om zeker te streven naar een organischestofgehalte van 5 à 8%. Indien dit niet mogelijk is en alleen de pH verhoogd wordt naar 6,5 dan is consumptie van bladgroente op dagelijkse basis af te raden (zie ook overzicht in paragraaf 5.1)

Bij cadmiumgehalten tussen de 2 en 5 mg kg⁻¹ wordt consumptie van bladgroente en aardappelen afgeraden tenzij het organischestofgehalte inderdaad verhoogd kan worden in combinatie met een verhoging van de pH naar 6,5. In dat geval is er dus een gecombineerde maatregel (ingrijpen in de beschikbaarheid en teeltadvies)

Het is duidelijk dat het verhogen van de pH en eventueel het organischestofgehalte een tijdelijke maatregel is die op termijn herhaald moet worden. De controle op de nalevering hiervan is dus een aspect dat moet worden uitgezocht. Na verloop van tijd zal de werking van zowel kalk als cement afnemen en zal de pH dalen. Dit vergt dus onderhoud. De mate waarin mensen bereid zijn dit te doen hangt af van hun betrokkenheid. Een tuinder die zijn tuin goed onderhoudt zal deze aanvullende maatregelen waarschijnlijk zeker toepassen, terwijl in slecht onderhouden tuinen de mate van interesse om over 5 jaar opnieuw kalk en of cement toe te dienen lager is.

5.2 Verlaging van het gehalte in de bodem waardoor eveneens de opname door gewassen verlaagd wordt.

Het verlagen van het cadmiumgehalte in de bodem is alleen zinvol wanneer daarmee een wezenlijk reductie bereikt wordt waarbij het uiteindelijke niveau zodanig moet zijn dat er zonder al te veel additionele maatregelen veilig groenten geteeld kan worden.

Omdat het echter volgens de Wet Bodembescherming (WBB) niet is toegestaan nieuwe verontreinigingen te creëren of te verspreiden, zijn de mogelijkheden om het cadmiumgehalte te verlagen beperkt. Het is namelijk niet toegestaan om schone grond op te brengen en deze vervolgens te mengen met de vervuilde onderliggende laag om zodoende een verlaging van het oorspronkelijke cadmiumgehalte in de bodem te bewerkstelligen. Daarmee wordt namelijk het gehalte in de opgebrachte schone grond hoger en dat is niet toegestaan.

Ook het diepploegen met als doel een opmenging van schone(re) ondergrond en vervulde bovengrond is volgens dezelfde regel niet toegestaan.

De enige manier om blijvend een verlaging van het gehalte in de bovengrond te bewerkstelligen is dus:

1. de vervuilde grond te verwijderen en te vervangen door een schone toplaag of
2. het opbrengen van een leeflaag die zodanig dik is dat opname vanuit de vervuilde grond tegengegaan wordt. Gezien de bewortelingsdiepte van veel gewassen zou deze laag als snel 30 à 50 cm dik moeten zijn hetgeen voor tuinen waarschijnlijk geen haalbare optie is.

Ook vergt het aanvoeren van schone grond een behoorlijke investering. Het voordeel van deze maatregelen in tegenstelling tot 'beheersing' via pH verhoging, is dat deze ingreep eenmalig is. Wanneer het cadmiumgehalte verlaagd is tot een gewenst niveau is het probleem definitief verholpen.

Hierbij moet wel weer onderscheid gemaakt worden tussen tuinen in gebieden die alleen door atmosferische depositie zijn belast (cadmium vanuit de lucht) en gebieden in overstromingsvlakten. Wanneer namelijk de kwaliteit van het sediment dat in de toekomst afgezet wordt nog steeds slecht is zal na verloop van tijd het gehalte in de bodem van de tuinen ook weer stijgen. In die gebieden waar afzetting van sediment in tuinen voorkomt heeft vervanging van de verontreiniging door een schone laag alleen zin wanneer ook de kwaliteit van het sediment goed is (maatregelen elders: slibvang).

Voor tuinen die alleen beïnvloed zijn door depositie vanuit de lucht kan aangenomen worden dat een eenmalige verwijdering van de toplaag of het opbrengen van een leeflaag afdoende is en geen verdere aanvullende maatregelen nodig zijn.

Bij gehalten van meer dan 2 tot 5 mg kg⁻¹ waarbij de functie moestuin wel in stand gehouden moet worden, is de optie om de toplaag (0 tot 25 à 30 cm) te verwijderen en te vervangen door schone grond dan ook aan te bevelen. Wanneer dat niet mogelijk is (financieel, technisch) moet de teelt van consumptiegewassen worden afgeraden.

5.3 Een teeltadvies op basis waarvan het afgeraden wordt om bepaalde gewassen te telen

Op basis van de CSOIL resultaten kunnen een aantal kritische grenzen afgeleid worden voor de maximaal aanvaardbare gehalten aan cadmium in de bodem in combinatie met de zuurgraad en het organischestofgehalte. In Tabel 5.1 staan de kritische cadmiumgehalten voor de 4 groepen van bodems die onderscheiden zijn. Deze zijn bepaald op basis van een risico index van 0,5 (zie ook Figuur 4.1)

Tabel 5.1 Overzicht van kritisch cadmiumgehalte (waarbij risico index van 0,5 overschreden wordt) berekend met CSOIL voor het blootstellingsscenario 'wonen met moestuin' (afgeleid uit Figuur 4.1)

Org. stof (%)	Berekend cadmiumgehalte bij RI van 0,5 (in mg kg ⁻¹ d's)	
	pH	
	4,5	6,5
4	0,5	1,5
8	0,7	2,1

Hierbij is echter uitgegaan van een volledig pakket uit eigen tuin. In Tabel 4.9 is echter al aangeduid dat bepaalde groenten onevenredig veel bijdragen aan de totale blootstelling. Om na te gaan wat de reductie in de blootstelling is wanneer geen bladgroenten en/of aardappelen uit eigen tuin gegeten worden is uitgerekend wat de risico index in dat geval wordt (zie Tabel 5.2).

Tabel 5.2 Effect van voedselpakket op risico-index.

pakket	pH	Cadmium bodem	Risico Index	
			OS 4%	OS 8%
volledig pakket	6,5	0,5	0,20	0,15
volledig pakket	6,5	2,5	0,79	0,58
volledig pakket	6,5	10	2,93	2,13
geen bladgroenten	6,5	0,5	0,17	0,15
geen bladgroenten	6,5	2,5	0,41	0,32
geen bladgroenten	6,5	10	1,34	0,95
geen bladgroenten & aardappelen	6,5	0,5	0,16	0,15
geen bladgroenten & aardappelen	6,5	2,5	0,30	0,24
geen bladgroenten & aardappelen	6,5	10	0,90	0,62

De aanvaardbare cadmiumgehalten in de bodem bij consumptie van een volledig pakket liggen tussen 2 en 2,5 mg kg⁻¹ (2,1 in Tabel 5.1). Wanneer echter geen bladgroenten uit eigen tuin gegeten wordt, dan ligt bij een pH van 6,5 en 8% organische stof het aanvaardbare cadmiumgehalte in de bodem rond de 5 mg kg⁻¹. Bij een organisch stofgehalte van 4% ligt dit rond de 3 mg kg⁻¹. Op basis van deze analyse kan een teeltadvies worden opgesteld waarbij zowel organische stof als cadmiumgehalte meegenomen worden. Dit is in onderstaand gearceerd blok weergegeven. Hierbij is wel uitgegaan van een pH van 6,5. Het blijkt dat in geval van lage pH waarden (hier is steeds uitgegaan van 4,5) de acceptabele cadmiumgehalten lager dan 1 mg kg⁻¹ zijn.

Hierbij zijn de grenswaarden enigszins aan elkaar geüniformeerd om te voorkomen dat er te veel verschillende grenswaarden opgesteld zouden worden. Zo ligt de kritische grens van cadmium bij 4% organische stof waarbij geen bladgroenten en aardappelen gegeten worden uit eigen tuin rond de 3 mg kg⁻¹. Omdat echter een groot deel van de grenswaarden rond de 2 liggen is er voor gekozen om deze grens ook op 2 te stellen.

Samengevat komt het er op neer dat in een ‘typische’ zandbodem met 4% organische stof de kritische grens voor consumptie uit eigen tuin rond de 1,5 mg kg⁻¹ ligt. Ophogen van het organischestofgehalte tot 8% leidt tot een grens van 2,0 mg kg⁻¹. Beide gelden bij pH 6,5. Voor zure gronden liggen de acceptabele grenzen bij volledige consumptie rond de 0,5 mg kg⁻¹. Het advies is echter om in tuinen met dergelijke pH waarden een onderhoudsbekalking uit te voeren en de pH op 6,5 te brengen. Wat betreft de individuele gewassen blijkt de bijdrage van spinazie dermate groot dat geadviseerd wordt om in tuinen met verhoogd cadmiumgehalte (cadmiumgehalte in zandgronden van meer dan 0,5 mg kg⁻¹) geen spinazie voor eigen consumptie te kweken.

Tabel 5.3 Teeltadviezen op basis van cadmiumgehalten in de bodem, pH en organischestofgehalte.

Bij pH 6,5	
<i>Bij 8% O,S.</i>	
Cd > 5,0 mg kg ⁻¹ :	geen consumptie uit tuin
Cd tussen 2,0 en 5,0 mg kg ⁻¹ :	geen consumptie bladgroenten ¹
Cd < 2,0 mg kg ⁻¹ :	volledig pakket
<i>Bij 4% O,S.</i>	
Cd > 5,0 mg kg ⁻¹ :	geen consumptie uit tuin
Cd tussen 2,5 en 5 mg kg ⁻¹ :	geen consumptie bladgroenten en aardappelen
Cd tussen 1,5 en 2,5 mg kg ⁻¹ :	geen consumptie bladgroenten
Cd < 1,5 mg kg ⁻¹ :	volledig pakket
Bij pH 4,5	
<i>Bij 8% O,S.</i>	
Cd > 3,0 mg kg ⁻¹ :	geen consumptie uit eigen tuin
Cd tussen 2,0 en 3,0 mg kg ⁻¹ :	geen bladgroenten, en aardappelen
Cd tussen 0,7 en 2,0 mg kg ⁻¹ :	geen bladgroenten
Cd < 0,5 mg kg ⁻¹ :	volledig pakket
<i>Bij 4% O,S.</i>	
Cd > 2 mg kg ⁻¹ :	geen consumptie uit eigen tuin
Cd tussen 1,0 en 2,0 mg kg ⁻¹ :	geen bladgroenten en aardappelen
Cd tussen 0,5 en 1,0 mg kg ⁻¹ :	geen bladgroenten
Cd < 0,5 mg kg ⁻¹ :	volledig pakket

¹ hier: andijvie, sla, en spinazie.

5.4 Advieswaarde voor cadmium in moestuinen in de Kempen: vergelijking CSOIL met warenwetnormen

Wanneer deze risico grenzen op basis van blootstelling vergeleken worden met de berekende cadmiumgehalten waarbij de warenwet norm voor individuele gewassen wordt overschreden dan blijkt dat de risico grens van 1,5 à 2 mg kg⁻¹ bij pH 6,5 goed overeen te komen met de data in Tabel 3.1. De grenzen voor cadmium variëren van 0,6 voor spinazie (waarvan al is geconstateerd dat dit gewas voor de Kempen wellicht ongeschikt is) tot meer dan 11 voor ongevoelige gewassen.

Voor de gewassen sla, radijs, andijvie en prei worden echter waarden gevonden tussen 1,2 à 1,8 mg kg⁻¹. Dat betekent dat een grenswaarde van 1,5 mg kg⁻¹ in principe ook voldoende beschermend moet zijn om de cadmiumgehalten van de individuele gewassen van voldoende kwaliteit te laten zijn. Wanneer er een duidelijke verhoogd organischestofgehalte (8% of meer) dan is 2 mg kg⁻¹ ook aanvaardbaar.

In feite is deze optie reeds aan de orde geweest in paragraaf 5.1. Daarbij is aangegeven bij welke gehalten en welke pH en organischestofgehalte geadviseerd wordt om geen bladgroente en/of aardappelen uit de moestuin te eten. Deze grenswaarden zijn in Tabel 5.4 nog eens weergegeven.

Tabel 5.4 Overzicht van teeltadviezen bij verschillende pH en organischestofniveaus.

bodemparameter		teeltadvies			
pH	Org. stof	Geen consumptie	Geen aardappelen/ bladgroente	Geen bladgroente	Geen beperking
6,5	8	> 5	n,v,t	2,0 - 5,0	< 2
6,5	4	> 5	2,5 - 5,0	1,5 - 2,5	< 1,5
4,5	8	> 3,0	2,0 - 3,0	0,7 - 2,0	< 0,7
4,5	4	> 2	1,0 - 2,0	0,5 - 1,0	< 0,5

Daarbij komt nog de aanbeveling om *geen spinazie* te verbouwen omdat dit gewas onevenredig veel bijdraagt aan de blootstelling, ook bij lagere cadmiumgehalten in de bodem (0,5 tot 1,5).

Uit de analyse komt een advieswaarde van cadmium in de bodem van 1,5 tot 2 mg kg⁻¹ naar voren. Hoewel dit lager is dan de eerder vastgestelde waarde van 2,5 mg kg⁻¹ (TCB advies), moet bedacht worden dat de afwijking tussen beide waarden door de toegepaste concepten (bodem plant modellen, CSOIL) niet als heel significant geldt.

5.5 Maatregelen om blootstelling te reduceren: een overzicht

In Tabel 5.5 is het voorgaande nog eens samengevat.

Tabel 5.5 Samenvatting van maatregelen

Maatregel	Effectiviteit ¹	Kosten ²	Duurzaam ³	Technisch haalbaar ⁴
<i>Verlaging beschikbaarheid</i>				
pH verhogen ⁵ (kalk/cement)	++	0	-/0	++
organische stof toevoegen (compost)	+	0	-/0	+ ⁵
<i>Verlagen cadmium bodem</i>				
Afgraven/schone grond ⁶	+++	++	+++	-/0
<i>Teeltadvies</i>				
Geen bladgroente en/of aardappel ⁷	+	-	+	++

¹ + = effectief; ² + = duur; ³ + = duurzaam; ⁴ + = haalbaar en niet lastig uitvoerbaar

⁵ verhogen van 4% naar 8% vergt grote hoeveelheden mest en of compost. Handhaven van huidige gehalte is wel haalbaar

⁶ in overstromingsgebieden alleen in combinatie met maatregelen die de kwaliteit van het aangevoerd slib verbeteren

⁷ in principe in combinatie

5.6 Overzicht van bodem en gewas parameters die in veldonderzoek bepaald moeten worden

Om de noodzaak tot maatregelen te kunnen schatten is het uiteraard van belang de juiste bodem- en gewasparameters te meten. Uit het voorgaande is gebleken dat met een beperkt aantal bodemparameters al een goede inschatting van de mogelijke

risico's te maken is. In onderstaande overzicht staan daarom de noodzakelijke bodem en gewasanalyses

Bodem

1. Totaalgehalte cadmium in de bodem met behulp van sterk zuur extractie (bijvoorbeeld Aqua Regia, NEN 6465).
2. Reactief metaalgehalte in de bodem (geen sterk zuur destructie maar bijvoorbeeld verdund zuur; 0,43 N HNO₃ extractie). Het verschil tussen 1 en 2 is een mate van de beschikbaarheid van cadmium in de bodem. Een deel van de zware metalen is niet beschikbaar, zeker wanneer er cadmium (en andere metalen) uit assen of andere bronnen aanwezig is.
3. Actueel beschikbaar metaalgehalte in de bodem in combinatie met samenstelling bodemvocht (verdunde zoutoplossing, schudverhouding 1:2 tot 1:4 bijvoorbeeld met CaCl₂). In dit extract kan ook DOC gemeten worden (opgelost organisch koolstof, van belang voor koper en lood chemie en beschikbaarheid) evenals de pH.
4. pH bodem (pH KCl), alleen nodig indien de pH niet in het CaCl₂ extract gemeten wordt.
5. organischestofgehalte (totaal).
6. textuur (percentage < 2 µm).

Deze parameters moeten in ieder geval voor de bovengrond (0 tot 20 à 25 cm) bepaald worden. Daarbij is het wel van belang te letten op de diepte van de bovengrond. In de meeste gevallen wordt de bovengrond jaarlijks omgespit en zal daarom tot een diepte van 20 à 25 cm redelijk homogeen zijn. Voor de meeste ondiep wortelende gewassen (bijv. sla, prei) is de informatie uit de bovengrond voldoende.

Voor dieper wortelende gewassen (ook aardappel) is het echter nodig ook de daaronder liggende laag te bemonsteren. Vaak is deze namelijk zuurder waardoor de beschikbaarheid van cadmium ondanks een lager gehalte hoog is.

Hoeveel metingen per tuin verricht moeten worden is afhankelijk van:

1. De grootte van de tuin. Richtlijnen voor het aantal monsters afhankelijk van de grootte van de tuin moeten nog opgesteld worden.
2. De variatie binnen een tuin. In het bijzonder in de overstromingsvlakten kunnen de verschillen binnen een tuin aanzienlijk zijn. Uiteraard hangt e.e.a. weer samen met de omvang van de tuin en de ligging t.o.v. de rivier. Voor tuinen die alleen beïnvloed werden door depositie vanuit de lucht geldt dat de ruimtelijke variatie waarschijnlijk kleiner is.
3. Het doel van het onderzoek. Het vaststellen van de totale blootstelling vergt een andere aanpak dan het verifiëren van een bodem - plant relatie. In geval van blootstellingsonderzoek ligt de nadruk op de gewaskwaliteit en de gemiddelde bodemkwaliteit van het perceel. Voor het verifiëren van een bodem plant relatie is het van belang de bodem en gewas monsters op exact dezelfde plek te nemen en

geeft een tuin gemiddelde waarde van het cadmiumgehalte in de bodem weer minder informatie.

Voor het bemonsteren van bodem en gewas wordt daarom een apart protocol opgesteld.

Gewas

1. Droge stof gehalte.
2. Gehalte aan metalen in droge fractie (totaaldestructie).

Omdat het hier specifiek om risico's in relatie tot metalen gaat is het niet noodzakelijk metingen van andere 'normale' gewasparameters als totaal-N uit te voeren.

In onder meer Wiersma et al. (1986) worden de analytische protocollen voor de analyse van metalen in de bodem uitgewerkt. Het protocol voor een aantal specifieke metingen als 0,43 N HNO₃ extractie, extractie met CaCl₂ zijn onder andere beschreven in Houba et al., 1997.

Zoals in Hoofdstuk 1 vermeld, is het voorlopig protocol voor de bemonstering van moestuinen in geval van blootstellingsonderzoek en onderzoek naar bodem – plant-relaties gereed. Voor meer info wordt verwezen naar Actief Bodembeheer de Kempen.

6 Conclusies en aanbevelingen

- De blootstelling aan cadmium via consumptie van gewassen uit eigen moestuin leidt tot overschrijding van de MTR bij lage pH waarden ($\text{pH} < 6$), zelfs bij cadmiumgehalten in de bodem van 1 mg kg^{-1} .
- Verhogen van de bodem pH tot waarden van 6,5 is daarom essentieel. Hogere waarden wordt niet aanbevolen omdat dan de beschikbaarheid van essentiële sporelementen ook te laag wordt (o.a. koper).
- Bij cadmiumgehalten van meer dan 2 mg kg^{-1} in zandgronden met minder dan 4% organische stof moet volledige consumptie uit eigen tuin van bladgroenten worden afgeraden.
- De berekende kritische cadmiumgehalten in de bodem waarbij warenwetnormen voor individuele gewassen overschreden worden ligt (bij pH 6,5) tussen de 1,2 en 2 mg kg^{-1} .
- De advieswaarde voor moestuinen zou, zowel vanuit oogpunt van blootstelling als vanuit het realiseren van gewasnormen tussen de 1,5 en 2 mg kg^{-1} moeten liggen.
- Handhaven van de bodem pH door bekalking en/of cement is een goede maatregel om risico's te beheersen, maar vergt onderhoud (en controle).
- Meer duurzame oplossingen zijn duurder en technisch complexer maar vergen geen onderhoud en/of controle achteraf.
- De beschikbaarheid van cadmium kan goed voorspeld worden op basis van bodemeigenschappen.
- De opname door gewassen kan goed voorspeld worden met bodem-plant relaties, maar aanvullend onderzoek naar de rol van speciatie en de beschikbaarheid van cadmium in de bodem is nodig om de betrouwbaarheid van de uitspraak te verhogen.
- De aanpak van de problematiek van de moestuinen in de Kempen moet als *maatwerk* beschouwd worden. Generieke uitspraken zowel over de kwaliteit van de tuinen (dwz het gehalte aan cadmium in de bodem) als de te nemen maatregelen zijn onbetrouwbaar door de variatie in de cadmiumgehalten tussen tuinen en de verschillen in bodemeigenschappen. Met maatwerk wordt hier dus bedoeld dat voor het doen van uitspraken op 'tuin-niveau' ook informatie (gegevens over cadmium in de bodem en bodemeigenschappen) op tuin-niveau gebruikt moet worden. De uiteindelijke beoordeling kan dan wel voor alle tuinen op eenzelfde manier gebeuren op basis van de in dit rapport geschetste methodieken.

- Ten behoeve van dit maatwerk is een lijst van minimaal vast te stellen bodem eigenschappen opgesteld. Dit omvat pH, cadmiumgehalte in de bodem (totaal en reactief, dwz extractie met verdund zuur en aqua regia), organischestofgehalte en textuur.

Aanbevelingen voor de aanpak van tuinen

1. Indien de tuin in de zone ligt met cadmiumgehalten in de bodem van meer dan 0,5 mg kg⁻¹: bekalken (pH tot 6,5). Dit betreft dus een gebied rondom Budel evenals de tuinen in overstromingsvlakten;
2. Indien de tuin in een verdachte zone ligt (cadmiumgehalte bodem hoger dan 1,5 à 2 mg kg⁻¹): vaststellen bodemeigenschappen (pH, organische stof, textuur) en cadmiumgehalte van de bodem;
3. Op basis van metingen passend teeltadvies opstellen. Alleen nodig in bodems met cadmiumgehalten lager dan 5 mg kg⁻¹;
4. Wanneer het cadmiumgehalte in de bodem hoger is dan 5 mg kg⁻¹: advies om geen groente te consumeren uit tuin of maatregelen nemen om cadmium in de bodem te verlagen tot beneden advieswaarde.

Literatuur

Bingham F.T. A.L. Page, R.J. Mahler & T.J. Ganje, 1975 Growth and cadmium accumulation of plants grown on a soil treated with a cadmium-enriched sewage sludge J. Environ. Qual. 4(2) 207-211.

Baars A.J., R.M.C. Theelen, P.J.C.M. Janssen, J.M. Hesse, M.E. van Apeldoorn, M.C.M. Meijerink, L. Verdam, M.J. Zeilmaker, 2001. Re-evaluation of human-toxicological Maximum Permissible Risk levels. RIVM, Bilthoven. RIVM report 711701025.

Cieslinski, G., G.H. Nielsen & E.J. Hogue, 1996, Effect of cadmium application and pH on growth and cadmium accumulation in roots, leaves and fruit of strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) Plant and Soil 180(2) 267-276.

Driel, van, W., B. Van Luit, W. Schuurmans, W. de Vries, M.J.J. Stienen, en G. Vos, 1988. Zware metalen in uiterwaard gronden en gewassen langs Maas, Geul en Roer. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren. Maasoever Rapport deel 1,2 en 3.

Dooren-Flipsen, 1996. Theoretical maximum daily intake of pesticides residues in the Netherlands-A model for risk assessment.

EPA, 1989. Exposure factors handbook. General factors I. Environmental Protection Agency, Washington, USA.

Grontmij, 1998. Tuinen Neerbeek te Roggel en Neer. Oriënterend onderzoek. Project code LI-355-0014-100 (Concept rapport).

Houba, V.J.G., J.J.G. van der Lee & I. Novozamsky, 1997. Soil and Plant Analysis, Wageningen Universiteit.

Hulshof, P.J.M., 1988. De groentenconsumptie van volkstuinders. Staatstoezicht op de Volksgezondheid, Rijswijk.

Kolk, J. van der, 1987. Cadmiumverontreiniging in de Brabantse Kempen : een nadere gegevensbewerking. CAD voor Bodem-, Water-, en Bemestingszaken in de Akkerbouw en Tuinbouw.

Luit, B. van & K.W. Smilde, 1983. Onderzoek naar de verontreiniging met cadmium en zink van grond en gewas in de omgeving van zinkfabrieken. Bedrijfsontwikkeling 14(6), 489-493.

Luit, B. van, 1984. Cadmiumopname door gewassen. Landbouwkundig Tijdschrift 96 (12) 19-20.

Mattina, M.J.I., William Lannucci-Bergera, C. Musantea & J.C. Whiteb, 2003. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil Environ. Poll. 124, 375-378.

NOK, 2003. Beleidsonderzoek Bodemkwaliteit Volkstuinen NS-terreinen. NOK, Gouda. In opdracht van Stichting Bodemsanering NS.

Otte, P.F., J.P.A. Lijzen, J.G. Otte, F.A. Swartjes & C.W. Versluijs, 2001. Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. Proposed parameter set for human exposure modelling and deriving Intervention Values for the first series of compounds. RIVM, Bilthoven, report nr.711701021, pp.125.

Pless-Mulloni, T., O. Papke, B. Schilling, PCDD/PCDF and heavy metals in vegetable samples from Newcastle allotments. Byker ash vegetable report, 2001. University of Newcastle upon Tyne.

Römkens P.F.A.M. & W. de Vries, 2001. Herziening LAC-signaalwaarden: op weg naar bodem-specifieke normen? Bodem 3, 104-106.

Römkens, P.F.A.M., L.W.A. van Hove & W. de Vries, 2004. Opname van metalen door landbouwgewassen. Een overzicht van beschikbare modellen en hun toepasbaarheid in het kader van de herziening van de LAC signaalwaarden. Alterra rapport in voorbereiding.

Römkens, P.F.A.M. & O. Oenema (eds.), 2004. Quick scan Soils in the Netherlands: Overview of the soil status with reference to the forthcoming EU Soil Strategy. Alterra rapport in voorbereiding.

Samoe-Petersen, L., Larsen, E.H., P.B. Larsen, P. Bruun, 2002. Uptake of trace elements and PAHs by fruit and vegetables from contaminated soils Env. Sco. Technol. 36, 3057-3063.

Smilde et al. ongepubliceerd, vakkenproef 6306.

Staessen J.A., R.R. Lauwerys, G. Ide, H.A. Roels, G. Vyncke & A.K. Amery, 1994. Renal function and historical environmental cadmium pollution from zinc smelters. The Lancet 343:1523-1527

Staessen, J.A., G. Vyncke, R.R. Lauwerys, H. Roels, H.G. Celis, F. Claeys, F. Dondeyne, R. Fagard, G. Ide, P.J. Lijnen, D. Rondia, F. Sartor, L.B. Thijs & A.K. Amery, 1992. Trasnfer of cadmium from a sandy acidic soil to man: a population study. Environ. Res. 58:25-34.

Versluijs, C.W. & P.F. Otte, 2001. Accumulatie van metalen in planten. RIVM rapport 711701024.

Ven-Breken, T.J. van de, J. Brenot, S. Bonnefous, H. Noordijk, H.P. Leenhouts, 1990. Consumption of food in EC countries, CEC research programme Post Chernobyl, Action 5: Underlying data for derived emergency reference levels. RIVM, Bilthoven. RIVM report 243402002.

Voedingscentrum, 1998. Zo eet Nederland. Resultaten van de voedselconsumptiepeiling 1997-1998. Den Haag

Wiersma, D., B.J. van Goor & N.G. van der Veen, 1986. Cadmium, lead, mercury and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 34, 1067-1074.

Wezel, A. van., W. de Vries, M. Beek, P. Otte, J. Lijzen, M. Mesman, P. van Vlaardingen, J. Tuinstra, M. van Elswijk, P. Römken & L. Bonten, 2003. Bodemgebruikswaarden voor landbouw, natuur en waterbodan. Technisch wetenschappelijke afleiding van getalswaarden. RIVM rapport 711701 031

Bijlage 1 Normen voor cadmiumgehalten in gewassen (warenwetnormen)

De normen voor gewassen zijn vastgelegd in de warenwetregeling Verontreinigen in levensmiddelen. De laatste wijziging was op 11 december 2001 op basis van een Europese verordening 466: verordening (EG) nr. 466/2001 van de Commissie van de Europese Gemeenschappen van 8 maart 2001 tot vaststelling van maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen (PbEG L 77).

Categorieën in warenwet	maximumgehalte mg kg ⁻¹		Gewassen in dit onderzoek
	per vers gewicht	per droog gewicht*	
Groenten en fruit (muv onderstaande)	0,05	0,66	kool
	0,05	0,40	boontjes
	0,05	0,79	courgette
	0,05	0,59	aardbeien
	0,05	1,25	tomaat
Bladgroenten	0,2	5	sla
	0,2	4	andijvie
	0,2	5	spinazie
Stengelgroenten, wortelgroenten en aardappelen	0,1	1	radijs,
	0,1	0,67	wortel
	0,1	0,4	aardappel
	0,1	1	prei

* drooggewichten op basis van Wiersma et al. (1988) en van Driel et al. (1986), en in geval van courgette en aardbeien uit EPA Exposure Factors Handbook (1989).

Bijlage 2 Informatie over relevante gewassen waarvoor geen bodem-gewas relaties zijn zoals beschreven in paragraaf 2.1

Actief Bodem Beheer de Kempen (AbdK) heeft gevraagd in de scenario's rekening te houden met minstens de volgende gewassen: aardappelen, aardbeien, andijvie, bonen, courgette, kool, radijs, wortel, sla. (zie aanpak in paragraaf 1.4).

Voor een aantal gewassen bestaan goede bodem-plant relaties die gebruikt kunnen worden voor het berekenen van kritische bodemgehalten op basis van gewasnormen (zoals beschreven in paragraaf 2.3). Voor een aantal andere gewassen zijn veel minder goede relaties. Indien een relatie nodig is voor de berekening van de blootstelling (CSOIL berekening in Hoofdstuk 4), dan wordt een constante verhouding gebruikt tussen cadmium in de bodem en het gewas. Dit alles laat de rol van twee gewassen onbeantwoord: courgette en aardbeien, omdat voor beide gewassen geen goede bodem-gewas relaties zijn (en dus geen aanleiding zijn voor het berekenen van kritische bodemgehalten) en beide gewassen niet voorkomen in de normale voedselpakket die gebruikt wordt bij de blootstellingsberekeningen. Vanwege de specifieke vraag is beknopt onderzocht of cadmiumopname door aardbeien en courgette relevant zou kunnen zijn voor dit onderzoek.

Er zijn zeer weinig publicaties over cadmium opname door courgette (*Curcubita pepo*) en aardbeien (*Fragaria x ananassa* Duch). In die gevallen dat er publicaties zijn gaat het meestal om experimenten waarbij cadmium is toegevoegd. Onder deze omstandigheden gaat er vaak relatief minder cadmium naar het blad en de vrucht ten opzichte van de wortel waardoor het werken met een constante verhouding tussen cadmium in blad (of vrucht) en cadmium bodem (een BCF waarde voor cadmium per gewas) niet correct is. Door in die publicaties ook te kijken naar de andere gebruikte gewassen is eenvoudig vast te stellen of onder de gebruikte omstandigheden (hoge cadmiumgift, geen onderlinge verschillen in mest, afval, moment van bemonstering etc.) courgette, bonen en aardbeien relatief veel of cadmium opneemt.

De cadmiumopname door aardbeien neemt sterk af gaande van wortel (>50% van cadmium opname), blad naar vrucht (<2%) en is gerelateerd aan de cadmiumgehalten in de bodem. Bij hoge cadmiumgehalten kan de norm voor cadmium ruimschoots worden overschreden. Cieslinski et al. (1996) vinden bij een laag cadmiumgehalte in de bodem (0,18 mg cadmium extraheerbaar per kg grond) relatief de hoogste opname in de vrucht (11 a 40 mg cadmium/kg vers gewicht aardbei bij een 0,18 mg cadmium/kg grond). Indien deze resultaten van enkel deze studie vertaald zouden worden naar kritische bodemgehalten zou het leiden tot relatief lage kritische cadmiumgehalten bij welke gehalten in aardbeien overschreden worden. Ter verificatie zijn ons verder geen wetenschappelijke publicaties bekend over cadmiumgehalten in aardbeien waardoor we bovenstaand gegevens niet meenemen.

Courgette is een plant die zeer sterk cadmium opneemt in de wortels en blad ten opzichte van ander gewassen (Mattina et al., 2003). De gehalten in de vrucht zijn

echter over het algemeen laag (Bingham 1975): bij een sterk verontreinigde bodem (cadmiumgehalte meer dan 10 mg kg⁻¹) was het gehalte in courgette zeer laag (0,2 mg kg⁻¹) ten opzichte van andere gewassen: bonen (0,7 mg kg⁻¹) witte kool (1 mg kg⁻¹) tomaat (1,2 mg kg⁻¹) mais (1,4 mg kg⁻¹) radijs (4 mg kg⁻¹) tarwe (5,8 mg kg⁻¹) wortel (16 mg kg⁻¹) sla (60 mg kg⁻¹) spinazie (160 mg kg⁻¹). Alle gewasgehalten zijn hierbij op basis van droge stof gegeven.

In het Maasoever-onderzoek (van Driel et al., 1988) is slechts 1 analyse aan courgette gedaan. Het cadmiumgehalte in de courgette was daarbij 0,08 mg kg⁻¹ ds bij een cadmiumgehalte in de bodem van 1,7 mg kg⁻¹.

Ofschoon dit slechts een beperkt aantal gegevens zijn, suggereren ze dat de gehalten in courgette laag zijn in vergelijking tot de andere gewassen. Dat betekent dat de blootstelling als gevolg van het consumeren van courgette uit eigen tuin niet hoger zal zijn dan de hier gepresenteerde gegevens waarbij de bijdrage van courgette niet is meegenomen.

Overige info

Bron: <http://users.tijd.com/kruin/mens-milieu/milieu.html>

Recent bloedonderzoek moest ook uitmaken of er een oorzakelijk verband was tussen de hoeveelheid zware metalen in de grond en de aanwezigheid in het menselijk lichaam.

Bij 106 vrijwilligers werd bloed en urine onderzocht en de studie toont aan dat er geen significant verband bestaat tussen opname in het bloed en de opname in planten.

Toch blijft enige voorzichtigheid geboden bij het eten van groenten uit eigen tuin, vooral in gebieden waar een verhoogde concentratie zware metalen aanwezig is.

Een raster is beschikbaar op het Gemeentehuis.

Indien het cadmiumgehalte tussen 1 en 3 ppm is kunnen, volgens De Bodemkundige Dienst van België volgende groenten nog zonder risico geteeld worden :

Aardappelen, bonen, tomaten, spruiten, rode koom, bloemkool, meloenen, paprika, augurken , erwten, komkommer en aardbei.
--

Volgende groenten zijn echter af te raden :

Spinazie, sla, wortelen, groene kool, waterkers, andijvie.
--

Tevens wordt het gebruik van kompost uit eigen tuin afgeraden.

Door het bekalken van de grond en het toevoegen van organische mest komt er minder cadmium in de groenten terecht.

Verdere info hieromtrent kan u steeds bekomen op bovenvermelde dienst.

Bijlage 3 Gedetailleerde uitvoering van Tabel 3.2

Kritisch cadmiumgehalte van bodem in relatie tot sla als functie van zuurgraad (pH) en organischestofgehalte (bij een kleigehalte van 4%). Het grijs gekleurde gebied geeft de kritische bodemeigenschappen bij een cadmiumgehalte van 1 mg kg⁻¹ in de bodem.

pH	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75	6	6,25	6,5	6,75	7
organische stof %															
2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3
3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1
5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,5
6	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8
7	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3	2,7	3,2
8	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	3,0	3,5
9	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2	3,8
10	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0
12	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9	3,4	3,9	4,6
14	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7	3,2	3,7	4,4	5,1
16	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6	3,0	3,5	4,1	4,8	5,6
18	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,4	2,8	3,3	3,8	4,5	5,2	6,1
20	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6	3,0	3,5	4,1	4,8	5,6	6,6

